

**UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID
ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR**

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA



INGENIERÍA INDUSTRIAL

DISEÑO Y ANÁLISIS DE UN VEHÍCULO VIVIENDA

Autor:
Jorge Torrijos Sánchez-Muñoz

Tutor:
Daniel García-Pozuelo Ramos

Leganés, Noviembre 2009

INDICE

1	INTRODUCCIÓN.....	15
1.1	Motivación.....	15
1.2	Objetivos.....	17
1.3	Estructura del proyecto	19
2	AUTOCARAVANA	22
2.1	Autocaravanas en el mundo: Pasado, presente y futuro	22
2.1.1	Los antecedentes.....	25
2.1.2	Innovaciones tecnológicas	26
2.1.3	La fabricación industrial.....	27
2.2	Autocaravanas en Europa	29
2.3	Autocaravanas en España. Marco actual	30
2.3.1	Mercado del sector.....	32
2.4	Definición y clasificación.....	33
2.4.1	Autocaravanas “Capuchinas”	34
2.4.2	Autocaravanas “Perfiladas”	35
2.4.3	Autocaravanas “Integrales”	35
2.4.4	Autocaravanas “Cámpers”	36
2.5	Vehículo base	37
3	SELECCIÓN DE ELEMENTOS	39
3.1	Consideraciones en el estudio	39
3.2	Estudio sobre selección de estructura principal.....	39
3.2.1	Evaluación de alternativas	40
a)	Estructura de tubos redondos.....	40
3.2.2	Conclusión	42
3.3	Estudio de selección de materiales estructurales	42
3.3.1	Evaluación de alternativas	43
3.3.2	Conclusiones.....	45
3.4	Estudio de selección de materiales No estructurales	45
3.5	Estudio sobre selección del sistema de apertura.....	48
3.5.1	Evaluación de alternativas	48
3.5.2	Conclusión	53
3.6	Estudio sobre selección del sistema de posicionado.	53
3.6.1	Evaluación de alternativas	54
3.6.2	Conclusión	55
3.7	Estudio de selección de baterías	56
3.7.1	Evaluación de alternativas	56
3.7.2	Conclusión	59
3.8	UNIÓN DE COMPONENTES	59
3.8.1	Estudio de alternativas	60
3.8.2	Conclusiones.....	62
4	DISEÑO CAJA-VIVIENDA.....	64
4.1	Introducción CATIA V5.....	64
4.2	VEHÍCULO BASE	67
4.3	VEHÍCULO VIVIENDA	68
4.3.1	Características generales.....	69
4.4	Estructura Fija	69
4.4.1	Base	70
4.4.2	Estructura Fija	71

4.5	Estructura Móvil	73
4.5.1	Techo	76
4.6	Sistema de apertura.....	78
4.6.1	Modo Vehículo	78
4.6.2	Modo Vivienda.....	79
5	ACCIONES	83
5.1	Introducción teórica.....	83
5.1.1	Cálculo.....	84
5.1.2	Cálculo resistente.....	86
5.1.3	Cargas accidentales.....	87
5.2	Límites	87
5.2.1	Estado Límite Último	87
5.2.2	Estado Límite de Servicio.....	88
5.3	Entorno de trabajo y definición de prestaciones.....	88
5.4	Estimaciones de masas de la estructura	90
5.4.1	Estimación de masas de la estructura fija.....	90
5.4.2	Estimación de masas de la estructura móvil.....	91
5.4.3	Estimación de masa del techo.....	92
5.4.4	Estimación de masa de los ocupantes.....	93
5.4.5	Estimación de masa del mobiliario.....	96
5.4.6	Estimación de masa totales.....	97
6	CÁLCULO ESTRUCTURAL.....	99
6.1	Propiedades de las vigas	99
6.1.1	Perfiles de Caja.....	99
6.1.2	Perfiles “IPN”	100
6.1.3	Perfiles en “C”	100
6.1.4	Perfiles en “U”	100
6.2	Método de elementos finitos.....	100
6.2.1	Pórtico simple.....	101
6.2.2	Pórtico completo.....	103
6.3	Estimaciones para el análisis de la estructura completa	104
6.3.1	Apoyos.....	105
6.3.2	Restricciones.....	105
6.3.3	Mallado.....	107
6.4	Análisis de la estructura completa.....	107
6.4.1	Peso propio de la estructura.....	107
6.4.2	Techo	108
6.4.3	Ocupantes	109
6.4.4	Mobiliario	110
6.5	Análisis del diseño mediante FEM.....	111
6.5.1	<i>Características del Material Simulado</i>	111
6.5.2	<i>Acciones y Reacciones</i>	112
6.5.3	Deformaciones.....	112
6.5.4	Tensiones (Von Mises).....	113
6.5.5	Errores	114
6.6	Comportamiento del chasis	114
6.6.1	Principios de cálculo.....	114
6.6.2	Capacidad de carga.....	115
6.6.3	Reparto de pesos.....	117

6.6.4	Capacidad de giro	119
6.6.5	Conclusiones.....	119
7	ESTUDIO DEL IMPACTO MEDIOAMBIENTAL.....	122
8	ESTUDIO DE SEGURIDAD Y SALUD	125
8.1	RIESGOS GENERALES	125
8.1.1	RIESGOS DETECTABLES	125
8.1.2	NORMAS O MEDIDAS PREVENTIVAS.....	125
8.2	RIESGOS ELÉCTRICOS	126
8.2.1	RIESGOS DETECTABLES	126
8.2.2	NORMAS Y MEDIDAS PREVENTIVAS.....	127
8.3	PREVENCIÓN DE RIESGOS.....	127
9	Estudio Económico.....	130
9.1	Costes directos.....	130
9.2	Costes indirectos.....	135
9.3	Coste total del prototipo	135
9.4	Conclusiones.....	136
10	Conclusiones y trabajos futuros.....	140
10.1	Conclusiones.....	140
10.2	Trabajos futuros.....	145
11	Bibliografía.....	147
– Anexo I –	.....	151
I)	Mecánica de sólidos deformables.....	151
A.	Tipos de sólidos deformables	151
B.	Teoría de la elasticidad lineal	152
C.	Resistencia de materiales.....	153
II)	Teoremas de Mohr.....	154
A.	Primer teorema de Mohr: variaciones angulares	154
i.	Deducción.....	154
ii.	Expresión no linealizada.....	155
B.	Segundo teorema de Mohr: flechas	155
i.	Deducción.....	156
C.	Aplicación.....	157
III)	Tensión de Von Mises	157
A.	Formulación matemática	157
i.	Energía de deformación.....	158
ii.	Invariante cuadrático J_2	158
B.	Tensión de Von Mises y tensiones principales.....	159
C.	Tensión de Von Mises en una viga.....	159
D.	Tensión de Von Mises en una placa	160
IV)	Teoremas de Castigliano	160
A.	Primer teorema de Castigliano	160
B.	Segundo teorema de Castigliano	161
–Anexo II-A –	.....	162
–Anexo II-B –	.....	166
–Anexo II-C –	.....	168
–Anexo II-D –	.....	170
–Anexo III-A –	.....	172
i.	MESH:.....	172
ii.	ELEMENT TYPE:	172
iii.	Materials.1	172

V)	Static Case	173
i.	Boundary Conditions	173
ii.	STRUCTURE Computation	173
iii.	RESTRAINT Computation	173
iv.	LOAD Computation	174
v.	STRUCTURAL MASS Computation	174
vi.	STIFFNESS Computation	175
vii.	CONSTRAINT Computation	175
viii.	FACTORIZED Computation	175
ix.	DIRECT METHOD Computation	176
x.	Static Case Solution.1 - Deformed Mesh.2	176
xi.	Static Case Solution.1 - Von Mises Stress (nodal values).2	177
xii.	Global Sensors	177
–Anexo III-B –	.....	178
xiii.	MESH:	178
xiv.	ELEMENT TYPE:	178
xv.	Materials.1	178
VI)	Static Case	179
i.	Boundary Conditions	179
ii.	STRUCTURE Computation	179
iii.	RESTRAINT Computation	180
iv.	LOAD Computation	180
v.	STRUCTURAL MASS Computation	180
vi.	STIFFNESS Computation	181
vii.	CONSTRAINT Computation	181
viii.	FACTORIZED Computation	181
ix.	DIRECT METHOD Computation	182
x.	Static Case Solution.1 - Deformed Mesh.1	182
xi.	Static Case Solution.1 - Von Mises Stress (nodal values)	183
xii.	Static Case Solution.1 - Von Mises Stress (nodal values).(Limits)	184
xiii.	Static Case Solution.1 - Translational displacement vector.	185
xiv.	Static Case Solution.1 - Stress principal tensor symbol.(Límites)	185
xv.	Static Case Solution.1 - Estimated local error.1	187
xvi.	Global Sensors	187
–Anexo I V–	.....	188
xvii.	MESH:	188
xviii.	ELEMENT TYPE:	188
xix.	Materials.1	188
VII)	Static Case	189
i.	Boundary Conditions	189
ii.	STRUCTURE Computation	190
iii.	RESTRAINT Computation	190
iv.	LOAD Computation	190
v.	STIFFNESS Computation	191
vi.	CONSTRAINT Computation	191
vii.	FACTORIZED Computation	191
viii.	DIRECT METHOD Computation	192
ix.	Static Case Solution.1 - Deformed Mesh.	192
x.	Static Case Solution.1 - Von Mises Stress (nodal values)	193
xi.	Static Case Solution.1 - Von Mises Stress (nodal values).(Limits)	194

xii.	Static Case Solution.1 - Translational displacement vector.	195
xiii.	Static Case Solution.1 - Stress principal tensor symbol.1	196
xiv.	Static Case Solution.1 - Estimated local error.1	197
xv.	Global Sensors	197

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. 1: Nissan ECO L-35.09	15
Figura 2.1: Carro chino, reproducción de un bronce descubierto en 1980.....	23
Figura 2.2: Cisium	23
Figura 2.3: Plaustrum	24
Figura 2.4: Carpentum.....	24
Figura 2.5: Carruca dormitorio	24
Figura 2.6: Carro de artistas (1873).....	25
Figura 2.7: Primera caravana “The wonderer”	25
Figura 2.8: Especificación de la Primera caravana “The wonderer”.....	26
Figura 2.9: Primer Road/rail.....	27
Figura 2.10: Caravana de tracción de gasolina.....	27
Figura 2.11: Caravana 1931.....	28
Figura 2.12: Censo autocaravanas en la Unión-Europa (2006).....	30
Figura 2.13: Tipo de uso de la autocaravana en España.....	31
Figura 2.14: Señal S-128 “punto de vaciado ecológico”.....	32
Figura 2.15: Forma de acceso a las autocaravanas en España.....	32
Figura 2.16: Evolución autocaravanas en España.	33
Figura 2.17: <i>Evolución industria autocaravanas (1940-2009)</i>	33
Figura 2.18: <i>Evolución industria autocaravana (2000-2009)</i>	33
Figura 2.19: Autocaravana Capuchina	34
Figura 2.20: Autocaravana Perfiladas	35
Figura 2.21: Autocaravana Integrales.....	36
Figura 2.22: Autocaravana Volkswagen Combi (Cámpervan)	36
Figura 3. 1: Viga de perfil redondo	40
Figura 3. 2: Viga de perfil tipo “L”	40
Figura 3. 3: Viga de perfil tipo “C”	41
Figura 3. 4: Evaluación tipo IPN	41
Figura 3. 5: Viga de perfil tipo “Caja”	42
Figura 3. 6: Base de la estructura móvil fabricada en Acero.....	45
Figura 3. 7: Composición de madera conglomerada	47
Figura 3. 8: Aislante Térmico-Acústico	48
Figura 3. 9: Actuadores neumáticos	49
Figura 3. 10: Actuadores hidráulicos.....	50
Figura 3. 11: Transmisión por correa	50
Figura 3. 12: Transmisión por cadena	51
Figura 3. 13: Gato mecánico (husillo de rosca trapezoidal).....	52
Figura 3. 14: Codificación de posición (encoders).....	54
Figura 3. 15: Sensores de contacto (Bumpers)	54
Figura 3. 16: Sensores de ultrasonidos	55
Figura 3. 17: Sensores de infrarrojos.....	55
Figura 3. 18: Batería de Plomo-ácido	56
Figura 3. 19: Batería de Níquel-Cadmio	57
Figura 3. 20: Batería de Semitracción	58
Figura 3. 21: Batería de Gel.....	58
Figura 3. 22: Uniones mediante soldadura	60

Figura 3. 23: Unión mediante tornillería: (a)Tornillo-tuerca; (b) Tornillo-tuerca prisionera; (c) Tornillo-grapa.	60
Figura 3. 24: Unión mediante remachado: (a) Remache ordinario; (b) Remache ciego	61
Figura 4. 1: Modelización vehículo comercial NISSAN L-35.09	68
Figura 4. 2: Base estructura fija.....	70
Figura 4. 3: Perfil Caja	70
Figura 4. 4: Pórticos estructura fija	71
Figura 4. 5: Perfil “U”	71
Figura 4. 6: Perfil “IPN”	71
Figura 4. 7: Estructura fija. Detalle viga longitudinal	72
Figura 4. 8: Estructura fija. Detalle travesaños superiores	72
Figura 4. 9: Estructura fija.(completa)	73
Figura 4. 10: Estructura móvil.....	73
Figura 4. 11: Estructura móvil. (completa) a) Estructura móvil lateral derecha. b) Estructura móvil lateral izquierdo	74
Figura 4. 12: Estructura móvil. (refuerzos) a)Localización de los refuerzos. b)Detalle de la escuadra en la estructura	75
Figura 4. 13: Estructura móvil. (Refuerzo central) a)Localización del refuerzo. b)Detalle de la escuadra en la estructura	75
Figura 4. 14: Acoplamiento travesaño superior. “c” indica estructura fija. “d” indica estructura móvil.	76
Figura 4. 15: Soportes al firme. a) Detalle soporte estructura móvil. b) Detalle apoyo.	76
Figura 4. 16: Techo.....	77
Figura 4. 17: Unión parte inferior del techo	77
Figura 4. 18: Sistema apertura planta superior	77
Figura 4. 19: Modelo en modo vehículo.....	78
Figura 4. 20: Apertura estructura móvil derecha	79
Figura 4. 21: Apertura estructura móvil izquierda	79
Figura 4. 22: Dimensiones caja-vivienda	80
Figura 4. 23: Estructura soportada apoyos	80
Figura 4. 24: Cerramiento de la planta superior	80
Figura 4. 25: Vista interior y exterior de la caja-vivienda.....	81
Figura 4. 27: Recreación modelo real Caja-Vivienda.	81
Figura 5. 1: Tipos de apoyos	84
Figura 5. 2: Ejes Globales	85
Figura 5. 3: Criterio de signos	85
Figura 5. 4: Esfuerzos producidos por cada una de las solicitaciones.....	86
Figura 5. 5: NISSAN L-35.09	89
Figura 5. 6: Inercias de la estructura Fija	90
Figura 5. 7: Inercias de la estructura Móvil. a)Estructura móvil derecha; b) estructura móvil izquierda.....	91
Figura 5. 8: Inercias del Techo	92
Figura 5. 9: Inercias de todos los ocupantes de la planta superior	93
Figura 5. 10: Posición de áreas a considerar para análisis	94
Figura 5. 11: Superficie de apoyo de cada uno de los elementos superiores que constituyen la estructura móvil. (1) Superficie travesaño superior estructura móvil(perfil	

caja). (2) Superficie travesaño superior central estructura móvil(perfil "C"). (3) Superficie l.....	94
Figura 5. 12: Superficie de apoyo de cada uno de los elementos superiores que constituyen la estructura fija. (4)Superficie de apoyo del larguero superior central estructura fija(perfil "IPN"). (5)Superficie de apoyo del travesaño superior estructura fija(perfil caja).....	95
Figura 5. 13: Inercias del mobiliario	96
Figura 5. 14: Superficie de contacto de cada uno de los elementos inferiores que constituyen la estructura móvil.....	97
Figura 6. 1: Perfil anodizado	99
Figura 6. 2: Semipórtico	101
Figura 6. 3: Tensión de Von Mises para Semipórtico	102
Figura 6. 4: Desplazamientos del semipórtico.....	102
Figura 6. 5: Pórtico	103
Figura 6. 6: Tensión de Von Mises para Pórtico	103
Figura 6. 7: Desplazamientos del Pórtico	104
Figura 6. 8: Empotramientos de la estructura.....	105
Figura 6. 9: Opciones de simulación entre unión de Est. Fija y Móvil.	106
Figura 6. 10: Detalle de unión de la estructura fija con las móviles.....	106
Figura 6. 11: Selección de mallado para el análisis.....	107
Figura 6. 12: Selección aceleraciones sobre la estructura	107
Figura 6. 13: Aceleración de la gravedad sobre las estructuras.....	108
Figura 6. 14: Selección Fuerza por unidad de longitud.....	108
Figura 6. 15: Fuerza por unidad de longitud debido al techo.....	109
Figura 6. 16: Selección Fuerza por unidad de superficie	109
Figura 6. 17: Fuerza por unidad de superficie debido a los ocupantes.....	110
Figura 6. 18: Selección Fuerza por unidad de superficie	110
Figura 6. 19: Fuerza por unidad de superficie debido al mobiliario.....	110
Figura 6. 20: Fuerza por unidad de superficie debido al mobiliario.....	111
Figura 6. 21: Desplazamiento que sufre la estructura.	112
Figura 6. 22: Tensiones de Von Mises que soporta la estructura	113
Figura 6. 23: Principio de acción-reacción(1)	114
Figura 6. 24: Principio de acción-reacción (2)	115
Figura 6. 25: Cotas para cálculo de reacciones	115
Figura 6. 26: Taras del vehículo	118
Figura 6. 27: Radios de giro del vehículo.....	119
Figura 6. 28: Distancias máximas según el reglamento de vehículos	119
Figura 10. 1: Estructura fija.....	141
Figura 10. 2: Estructura móvil.....	141
Figura 10. 3: Funcionamiento sistema apertura	143
Figura II.A. 1: Perfil de Caja "60x60"	162
Figura II.A. 2: Perfil de Caja "50x50"	164
Figura II.B. 1: Perfil "IPN"	166
Figura II.C. 1: Perfil "C"	168

Figura II.D. 1: Perfil "U"	170
Figura III.A. 1: Semipórtico	173
Figura III.A. 2: Deformada Semipórtico	176
Figura III.A. 3: Von Mises Semipórtico	177
Figura III.B. 1: Pórtico	179
Figura III.B. 2: Deformada	182
Figura III.B. 3: Von Mises Pórtico	183
Figura III.B. 4: Von Mises Pórtico (Límites)	184
Figura III.B. 5: Desplazamiento (Vector)	185
Figura III.B. 6: Tensor de Tensiones (límites)	186
Figura III.B. 7: Error de cálculo	187
Figura IV. 1: Apoyos	189
Figura IV. 2: Estructura	189
Figura IV. 3: Deformada	192
Figura IV. 4: Von Mises Estructura	193
Figura IV. 5: Von Mises (Límites)	194
Figura IV. 6: Desplazamiento (Vector)	195
Figura IV. 7: Tensor de Tensiones (Límites)	196
Figura IV. 8: Error de Cálculo	197

INDICE DE TABLAS

Tabla 3. 1: Características mecánicas del acero	43
Tabla 3. 2: Evaluación del uso de acero.	43
Tabla 3. 3: Características mecánicas del aluminio.....	44
Tabla 3. 4: Evaluación del uso de aluminio.....	44
Tabla 3. 5: Características mecánicas de los materiales compuestos (estructura Sándwich)	46
Tabla 3. 6: Evaluación del uso de materiales compuestos	46
Tabla 3. 7: Materiales aprovechados por el sector del tablero como materia prima	47
Tabla 3. 8: Evaluación del uso de actuadores neumáticos	49
Tabla 3. 9: Evaluación del uso de actuadores neumáticos	50
Tabla 3. 10: Evaluación del uso de transmisión por correas.	51
Tabla 3. 11: Evaluación del uso de transmisión por cadena.....	52
Tabla 3. 12: Evaluación del uso de gato mecánico.....	53
Tabla 3. 13: Evaluación del uso de baterías de plomo y ácido.....	57
Tabla 3. 14: Evaluación del uso de baterías de Níquel-Cadmio (NiCd).	57
Tabla 3. 15: Evaluación del uso de baterías de semitracción.	58
Tabla 3. 16: Evaluación del uso de baterías de semitracción.	59
Tabla 3. 17: Evaluación del uso de uniones mediante adhesivos.....	62
 Tabla 4. 1: Dimensiones exteriores del vehículo.....	 68
Tabla 4. 2: Dimensiones Caja-Vivienda.....	69
 Tabla 5. 1: Dimensiones exteriores del vehículo actual	 89
Tabla 5. 2: Limitaciones de carga del vehículo actual	89
Tabla 5. 3: Superficie de apoyo total sobre la que actúa la carga de los ocupantes	95
Tabla 5. 4: Cargas que actúan sobre la estructural	97
 Tabla 6. 1: Fuerza por unidad de superficie debido al mobiliario.....	 111
Tabla 6. 2: Valores máximos de las reacciones.....	112
Tabla 6. 3: Características del vehículo base.....	116
Tabla 6. 4: Cargas del diseño.....	116
Tabla 6. 5: Cargas adicionales	117
Tabla 6. 6: Reparto de cargas de los ejes.....	118
 Tabla 9. 1: Resumen desglose de costes.....	 130
Tabla 9. 2: Presupuesto sistema de desplazamiento lateral	131
Tabla 9. 3: Presupuesto de adquisición de componentes estructura fija.	131
Tabla 9. 4: Presupuesto de adquisición de componentes estructuras móviles.....	132
Tabla 9. 5: Presupuesto de adquisición de otros elementos necesarios.....	132
Tabla 9. 6: Presupuesto de adquisición de componentes para acondicionamiento interior	133
Tabla 9. 7: Presupuesto de adquisición de componentes estructuras móviles.....	133
Tabla 9. 8: Partida presupuestaria de soporte técnico	134
Tabla 9. 9: Partidas presupuestaria para certificados	134
Tabla 9. 10: Partidas presupuestaria costes directo	135
Tabla 9. 11: Partidas presupuestaria costes indirecto	135

Tabla 9. 12: Partidas presupuestaria costes totales del proyecto	135
Tabla 9. 13: Comparativa autocaravana Ocasión-Vehículo vivienda	136
Tabla 9. 14: Comparativa autocaravana Nueva-Vehículo vivienda	137
Tabla II.A. 1: Datos del Material	162
Tabla II.A. 2: Datos del Perfil	162
Tabla II.A. 3: Cálculo del Área	162
Tabla II.A. 4: Centro de Gravedad	163
Tabla II.A. 5: Momentos de Inercia	163
Tabla II.A. 6: Momento Resistente	163
Tabla II.A. 7: Masas	163
Tabla II.A. 8: Datos del Material	164
Tabla II.A. 9: Datos del Perfil	164
Tabla II.A. 10: Cálculo del Área	164
Tabla II.A. 11: Centro de Gravedad	165
Tabla II.A. 12: Momento de Inercia	165
Tabla II.A. 13: Momento Resistente	165
Tabla II.A. 14: Masas	165
Tabla II.B. 1: Datos del Material	166
Tabla II.B. 2: Datos del Perfil	166
Tabla II.B. 3: Cálculo del Área	166
Tabla II.B. 4: Centro de Gravedad	167
Tabla II.B. 5: Momento de Inercia	167
Tabla II.B. 6: Momento Resistente	167
Tabla II.B. 7: Masas	167
Tabla II.C. 1: Datos del Material	168
Tabla II.C. 2: Datos del Perfil	168
Tabla II.C. 3: Cálculo del Área	168
Tabla II.C. 4: Centro de Gravedad	169
Tabla II.C. 5: Momento de Inercia	169
Tabla II.C. 6: Momento Resistente	169
Tabla II.C. 7: Momentos	169
Tabla II.D. 1: Datos del Material	170
Tabla II.D. 2: Datos del Perfil	170
Tabla II.D. 3: Cálculo del Área	170
Tabla II.D. 4: Centro de Gravedad	171
Tabla II.D. 5: Momento de Inercia	171
Tabla II.D. 6: Momento Resistente	171
Tabla II.D. 7: Masas	171
Tabla III. A. 1: Mallado	173
Tabla III. A. 2: Cargas	174
Tabla III. A. 3: Centro coordenadas Inercia	174
Tabla III. A. 4: Tensor de Inercia	174
Tabla III. A. 5: Stiffness	175
Tabla III. A. 6: Restricciones	175
Tabla III. A. 7: Factorización	175

Tabla III. A. 8: Matriz de Cálculo	176
Tabla III. A. 9: Sensor	177
Tabla III.B. 1: Mallado	179
Tabla III.B. 2: Cargas	180
Tabla III.B. 3: Centro coordenadas Inercia	180
Tabla III.B. 4: Tensor Inercia	180
Tabla III.B. 5: Stiffness	181
Tabla III.B. 6: Restricciones.....	181
Tabla III.B. 7: Factorización	181
Tabla III.B. 8: Matriz de cálculo	182
Tabla III.B. 9: Sensor	187
Tabla IV. 1: Mallado	190
Tabla IV. 2: Cargas.....	190
Tabla IV. 3: Stiffness.....	191
Tabla IV. 4: Restricciones	191
Tabla IV. 5: Factorización	191
Tabla IV. 6: Matriz de Cálculo	192
Tabla IV. 7: Sensor	197

1.- INTRODUCCIÓN

1 INTRODUCCIÓN

1.1 Motivación

El turismo Itinerante es un turismo al aire libre y compatible con el medio ambiente, realizado con caravanas o autocaravanas. Este tipo de turismo pretende retornar al viaje como momento central de las vacaciones.[23]

El presente proyecto tiene como origen el deseo de poder adaptar un vehículo comercial de carga (del cual se dispone) en vehículo de recreo como lo es una autocaravana.

El diseño está motivado en encontrar una solución viable y económica con el fin de obtener un vehículo capaz de proporcionar las comodidades de una casa en modo vivienda y las de un vehículo comercial en circulación. Como principales premisas el vehículo debe proporcionar:

- INDEPENDENCIA para decidir el día, la hora, las paradas y las rutas a visitar.
- AUTONOMIA, ya que lleva además del transporte, el alojamiento, y la manutención.
- CONTACTO CON LA NATURALEZA, respecto al entorno, a su fauna y a su flora.

El vehículo comercial originario de esta idea es un NISSAN L-35.09, el cual se utiliza para el transporte de muebles:



Figura 1. 1: Nissan ECO L-35.09

Este vehículo es el punto de partida del diseño, el cual está enfocado a modificar la caja de carga para satisfacer las necesidades requeridas para realizar turismo itinerante de la forma más cómoda posible. Con el objetivo de obtener un diseño económico y robusto se trata de aprovechar la mayor cantidad de componentes que constituyen esta caja de carga inicial. Además se dispone de unos 50 metros de un perfil de caja de aluminio cuyas dimensiones son de 60x60x5mm.

Una vez conocido la disponibilidad del vehículo y la posibilidad de aprovechamiento del perfil de caja, se realizaron varios estudios previos para adaptar este vehículo a una autocaravana. Como conclusión a estos estudios previos se decidió dotar a la caja de movimiento con el fin de obtener una superficie habitable mayor que la del vehículo base (9m²).

A pesar de que el presente proyecto es un prototipo para satisfacer las necesidades particulares de realizar turismo itinerante, este diseño puede tener además un interés comercial. En los últimos años el mercado de las autocaravanas, así como los camping, han experimentado un crecimiento que hace interesante ofrecer nuevos productos a este sector en auge.

El uso de este vehículo como caravana permite realizar un turismo sostenible, que lleva el desarrollo a las zonas que frecuenta y no altera el equilibrio del lugar, es sin ninguna duda el mejor instrumento para poner en práctica los valores que defiende el turismo itinerante. Es un turismo adaptado extraordinariamente a todos los lugares aunque estos no sean autosuficientes, porque en la extraordinaria flexibilidad de este vehículo se puede encontrar un aliado perfecto por su autonomía.

El vehículo vivienda proporciona las dos necesidades básicas para hacer turismo: vehículo y habitáculo. Como vehículo, es un camión transformado para el transporte de una a tres personas y como habitáculo dispone de todos los elementos necesarios para comer, dormir y el aseo personal. Con mayor o menor lujo, más o menos avanzados, más o menos costosos, el vehículo vivienda al igual que las autocaravanas disponen de las comodidades necesarias para viajar y descansar.

Desde un punto de vista sanitario, dispone de lavabo y ducha, cuyas aguas jabonosas se recogen en un depósito con una autonomía de varios días así como de WC. Los residuos del WC se depositan en un recipiente incluido. Los depósitos se vacían periódicamente en las redes de alcantarillado situadas en gasolineras o en áreas específicas.

La autonomía que proporciona este diseño permite realizar un tipo de turismo que se caracteriza por la libertad y respeto al medio ambiente. No es necesario planificar un viaje. La información contenida en las guías y la difundida por Internet permite viajar con una suerte de improvisación controlada. No es necesario reservar de antemano las habitaciones en un hotel o en los campamentos turísticos. Cualquier lugar de estacionamiento en las vías públicas seguro y tranquilo es suficiente para cubrir una etapa.

En los tiempos actuales, cada vez es mayor el interés de las administraciones de concienciar a los ciudadanos de que el agua es un recurso escaso, y que como tal, debe tratarse con extremadas medidas de ahorro o, cuando menos evitar su despilfarro.

Los autocaravanistas ya tienen plena conciencia de su importancia. Por lo general una autocaravana cuenta con un depósito de agua limpia de entre 50 y 150 litros y un depósito de aguas grises de entre 50 y 125 litros.

Una familia de autocaravanistas de 4 personas puede pasar todo un fin de semana, incluyendo las correspondientes duchas diarias con 100-150 litros de agua.

El vehículo vivienda para ser energéticamente autónomo cuenta con dos fuentes de energía:

Generada por un alternador y almacenada en una batería “de motor” dedicada exclusivamente a servir a los sistemas propios de la autocaravana como automóvil y una o dos baterías “extra” de tipo “*semitracción*” y de gran capacidad que se encarga de los consumos propios de una vivienda como iluminación, bombas de aguas, impulsión del aire de la calefacción o de agua cuando esta lo es por circuito cerrado con radiadores, ventilación, extractor de humos, radio, televisión, etc.

Un gran porcentaje de autocaravanas cuenta además (en la actualidad) con paneles solares fotovoltaicos instalados en sus techos que ayudan a mantener la carga de las baterías aunque no se circule mucho durante varios días.

El funcionamiento del refrigerador cuando el vehículo está parado, la calefacción, el agua caliente sanitario y la cocina, está proporcionado por gas propano, el cual se presenta en botellas de 11kg. En primavera u otoño, con un uso moderado de la calefacción, una familia de 4 personas puede consumir una botella de propano en 20-25 días.

Será difícil encontrar un modo de hacer turismo que genere tal ahorro de agua y energía y, en consecuencia, semejantes beneficios para la conservación de la naturaleza en el sentido más amplio del término.

Este escaso consumo de energía, además, es una ventaja añadida para las poblaciones, especialmente las pequeñas localidades rurales, que acogen la visita de autocaravanistas, puesto que al contrario de otros tipos de turismo “inmobiliario” que obligan al sobredimensionamiento de los servicios de abastecimiento y depuración de agua o de suministro eléctrico con cargo al presupuesto de sus contribuyentes que luego van a ser utilizados en realidad por los turistas durante una, con suerte, sexta parte del año

1.2 Objetivos

El principal objetivo que se pretende conseguir con este proyecto es el diseño y evaluación de una estructura móvil de bajo coste y altas prestaciones, dicho diseño ha de cumplir con los siguientes requisitos:

- Diseño capaz de proporcionar un habitáculo amplio en modo vivienda y mantenga sus cotas exteriores en modo vehículo.
- Se aprovechará el mayor número de elementos de la caja base.
- La caja-vivienda estará dotada de un sistema móvil que proporcione una mayor superficie habitable.

- Dispondrá de dos plantas, una inferior donde se ubicará la cocina, baño, salón, etc. y una planta superior con dormitorio para la mayor cantidad de huéspedes posible.
- La estructura no ha de suponer un riesgo para la integridad física de las personas.
- Diseño respetuoso con el medioambiente desde la fase de concepción hasta la fase de desmantelamiento.
- Los sistemas de apertura no deben suponer ningún riesgo para la integridad de las personas y estructura.
- El sistema de apertura ha de ser de fácil manejo.
- Estructura versátil, resistente y ligera que permita su uso como caja de carga (trabajos futuros) o vivienda (autocaravana).
- El peso de estructura, vehículo y carga no superará la Masa Máxima Admisible del vehículo (MMA).
- La distribución de cargas no deberá de sobrepasar el límite de carga establecido por el fabricante del vehículo en ninguno de sus ejes.
- El diseño de la estructura no deberá influir en la estabilidad vehicular (Vehículo en marcha).
- El vehículo vivienda tendrá dos posiciones definidas:
 - a. Modo Vehículo: Deberá cumplir con la normativa vigente sobre circulación de vehículos automóviles.
 - b. Modo Vivienda: Deberá comportarse como una estructura en equilibrio.(Isostática o Hiperestática)
- Las dos plantas estarán intercomunicadas interiormente.
- Estructura equilibrada en modo vivienda, así como en el proceso de apertura.
- El suministro eléctrico estará proporcionado por baterías. No es objeto del presente proyecto el diseño específico del sistema eléctrico.
- Los sistemas hidráulicos abastecerán de la canalización de los fluidos utilizados en el vehículo vivienda. No es objeto del presente proyecto el diseño específico del sistema hidráulico.
- Los sistemas de gas abastecerán de la energía calorífica necesaria. No es objeto del presente proyecto el diseño específico de este sistema.
- Instalación de ventanas para el aprovechamiento de la luz solar.

- Diseño en concordancia con las normativas sobre reformas de importancia y Eurocódigos.
- Los materiales deben ser resistentes, ligeros y con un coste razonable.

Se debe tener en cuenta que las soluciones propuestas en el presente proyecto han de cumplir con el compromiso entre coste de implementación y prestaciones de los componentes. Ha de tenerse en cuenta que no son soluciones únicas ya que se pretende establecer un equilibrio entre diseño y coste de implementación.

1.3 Estructura del proyecto

El contenido del proyecto se encuentra distribuido en doce capítulos siendo el primero de ellos la presente introducción. En este capítulo se aporta la idea general y motivación del proyecto. Se establecen como objetivos las líneas de desarrollo y las prestaciones de la estructura ante las situaciones más desfavorables posibles en el entorno en el que se pretende que realice su actividad. Por último, se describe brevemente el contenido de los capítulos en los que se estructura el presente documento.

El capítulo 2, *Autocaravanas*. Expone brevemente el estado de las tecnologías de este tipo de vehículos en la actualidad, mirando al pasado y acompañado de estimaciones en periodos futuros. Se pretende dar a conocer los tipos de autocaravanas, sus aplicaciones, sus componentes y configuraciones más comunes.

El capítulo 3, *Selección de elementos*. Pretende ser un paso previo a la fase de cálculo de la estructura, especialmente a lo que se refiere a la resistencia mecánica de la estructura. Para ello, se evalúan y, posteriormente, se decide entre las alternativas que surgieron para la configuración del vehículo-vivienda en varios aspectos básicos de este. Además se da una introducción a posibles alternativas para el acabado de la caja-vivienda, así como elementos necesarios para el óptimo funcionamiento del conjunto.

El capítulo 4, *Diseño de la Caja-Vivienda*. Se muestra de forma detallada cada uno de los elementos estructurales que constituyen la caja-vivienda. El diseño se presenta paso a paso para una fácil comprensión del montaje de las estructuras. Cada uno de los elementos se ha diseñado y ensamblado a través de la herramienta de elementos finitos *Catia V5*. No es objeto de este capítulo dimensionar con precisión cada uno de los elementos constituyentes.

El capítulo 5, *Acciones*. Se realiza una breve introducción teórica relacionada con el Anexo I. En este capítulo se exponen las acciones que han de ser soportadas por la estructura. Para una mayor fiabilidad de los resultados en el diseño se ha considerado un coeficiente de seguridad de dos. La elección de este coeficiente se debe a que no se han considerado elementos como tornillería, cableado, etc. y se trata de trabajar siempre del lado de la seguridad.

El capítulo 6, *Cálculo estructura*., Se determinan las dimensiones de perfiles a utilizar en el diseño mostrando sus principales características. Este capítulo está relacionado con

los Anexos II y III, en los que se muestran los resultados de una *Hoja de cálculo Excel* desarrollada para el cálculo de las características de los perfiles. Mediante el módulo “*Análisis & Simulation*” se realiza el análisis estático de un pórtico como simplificación de la estructura y del propio conjunto estructural. Se incluye el informe que proporciona el software *Catia* con los resultados del análisis del conjunto. Los informes del análisis del pórtico se adjuntan en el Anexo IV.

El capítulo 7, *Estudio Impacto Medioambiental*. El diseño de esta caja-vivienda pretende ser compatible con el medio ambiente, respetando al entorno, a su fauna y a su flora, pero no solo en uso, sino también en todos y cada uno de los pasos para su fabricación y desmantelamiento.

El capítulo 8, *Estudio de Seguridad y Salud*. El principal factor para la fabricación y uso de cualquier elemento es garantizar la integridad física de aquellas personas que están en contacto con dicho elemento. Para ello se realiza una serie de indicaciones de posibles riesgos detectables y normas de seguridad a modo de prevención de riesgos laborales. De este modo se trata de garantizar que ninguna persona sufra ningún tipo de daño por el manejo de cualquier elemento que constituye la caja-vivienda.

El capítulo 9, *Estudio económico*. Para la fabricación de cualquier elemento ha de ser viable económicamente. Se realiza un estudio económico valorando las ofertas de los elementos a instalar, mano de obra, certificado de taller, certificado NISSAN, Inspección ITV y tasas. Se realiza la comparación del diseño con autocaravanas comerciales.

El capítulo 10, *Conclusiones y trabajos futuros*. Una vez realizados todos los estudios de viabilidad (estructural, económica, etc.) se presentan las conclusiones a las que se han llegado. Tomando la decisión de continuar con la siguiente fase de análisis específico de cada uno de los elementos de la estructura. Con el afán de mejorar este diseño se incluyen posibles aplicaciones o modificaciones.

El capítulo 11, *Bibliografía*. Muestra los documentos, libros, direcciones de Internet, apuntes, etc. más destacados donde se ha obtenido la información necesaria que ha permitido realizar y documentar el presente proyecto.

El capítulo 12, *Anexos*. Este capítulo al que se ha hecho referencia anteriormente pretende proporcionar información de interés sobre el presente proyecto.

- *Anexo I*: Presenta los fundamentos teóricos necesarios para la comprensión de los cálculos realizados con *Catia*.
 - *Anexo II*: Muestra las Hojas de Cálculo Excel que se desarrollaron para calcular las características de los perfiles a utilizar en el diseño.
 - *Anexo III*: Muestra los informes suministrados por el software *Catia* con los resultados de los análisis realizados al pórtico como simplificación de la estructura.
 - Anexo IV: Muestra el informe con los resultados del análisis realizado a la estructura completa.
-

2.- AUTOCARAVANA

2 AUTOCARAVANA

2.1 Autocaravanas en el mundo: Pasado, presente y futuro

La acepción de “caravana” en sentido estricto data del siglo XIX. Pero no se ha de olvidar que las caravanas (remolque, roulotte, autocaravana, etc.) tienen sus precedentes históricos de todos aquellos vehículos que a lo largo de la historia se han empleado como vivienda o dormitorio, aunque no fuese con fines turísticos.[1]

Se puede definir caravana como [3]:

- Vehículo con motor propio, acondicionado para hacer vida en él.
- Grupo de personas (mercaderes, peregrinos, etc.) que se juntan para viajar en la misma dirección, a pie o en algún vehículo, a través de zonas despobladas o peligrosas para ir prevenidos y ayudarse en caso de necesidad.
- Fila de vehículos que marchan por una carretera, autovía o autopista en la misma dirección con lentitud y poco distanciados entre sí debido al tráfico denso: encontramos caravana al volver de la playa(España).
- Adorno que se pone o se lleva colgando de alguna parte del cuerpo, generalmente del lóbulo de la oreja: el collar de perlas legítimas, *las caravanas de Topacios*. OMEGA. (Uruguay).

La rueda (procedente del término latino *rota*, que procede del *proto-indo-europeo rotā*, una forma de la raíz *ret-* que significa “*para rodar, girar*”) fue uno de los inventos fundamentales de la Historia de la humanidad, por su gran utilidad. La aparición de la rueda dio paso a la aparición del carro, el cual supuso una evolución del trineo de carga, basado en una plataforma sobre patines, representada a menudo en los antiguos monumentos egipcios. [2] [5]

En excavaciones situadas en Mesopotamia se han hallado restos de carros de cuatro ruedas, cuya antigüedad cabe situarla hacia los 3000 o 2500 años a.C. Hacia el año 2000 a.C. los egipcios usaban carros de dos ruedas tirado por caballos en cacerías y actividades militares. Los asirios, los griegos y los romanos también usaban este tipo de carro. [2]

Durante las dinastías Chou y Ch'in (1120-221 y 221-207 a.C.) se construyó en China una red de carreteras y canales. Estas carreteras (de alguna manera mejores que las romanas) iban desde simples caminos a auténticas carreteras con carriles especiales para tráfico denso.

Las leyes de tráfico señalaron límites de velocidad, prioridades en los cruces, modelos y peso para la construcción de vehículos.

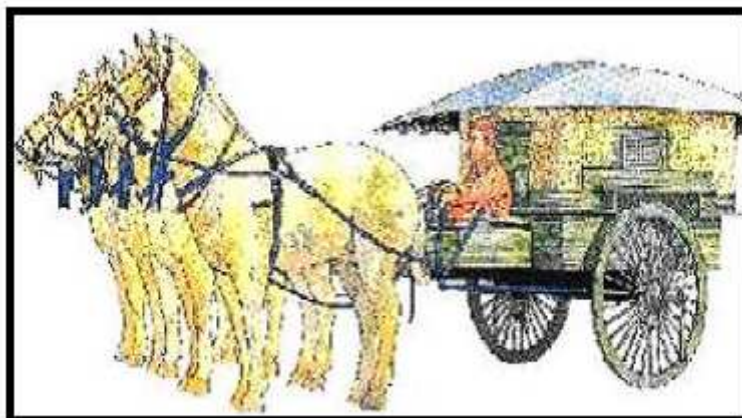


Figura 2.1: Carro chino, reproducción de un bronce descubierto en 1980

Los primeros carros se utilizaron para los trabajos agrícolas, luego para el transporte de viajeros y también para la guerra.

En los tiempos de Adriano (117-138 a.C.) [2] había una red de carreteras que recorría toda Europa y llegaba a Oriente Medio. El tráfico se movía a 8 Km/h y había casas de descanso cada 60 Km. Los romanos fueron los primeros en sufrir los atascos de tráfico. Había tanta gente en las carreteras que tuvieron que dictarse unas leyes para darle preferencia al tráfico militar y al oficial. En muchas ciudades los vehículos estaban prohibidos durante el día, así que tuvieron que moverse en litera, de caja cubierta, llevada por esclavos. Algunas de esas vías, con muy pocas modificaciones, se han estado usando hasta hace pocos años. [4]

Entre los romanos, el carro de guerra no tuvo gran importancia; les dedicaban más atención a los del transporte, entre los cuales cabe destacar: [1]

Cisium: calesa ligera conducida por un esclavo o caballos provista de dos o tres ruedas [10]



Figura 2.2: Cisium

Plaustrum: Pesado, de ruedas sin radios, con armazón de maderos entrecruzados.

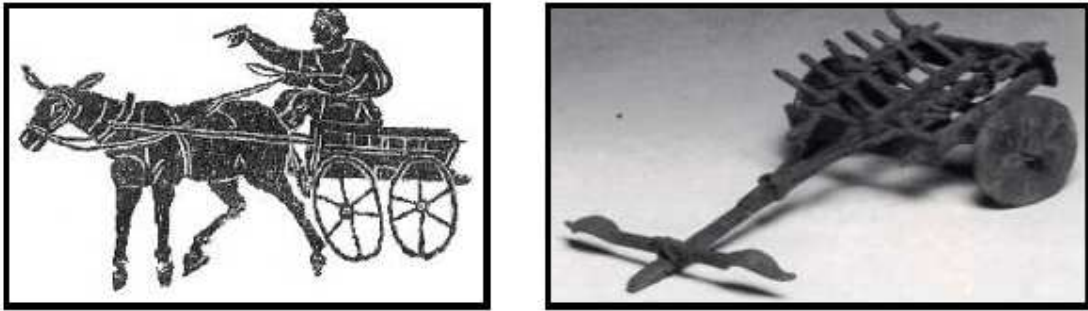


Figura 2.3: Plaustrum

Carpentum: De dos ruedas, aparecido en Etruria en el s. V a.C., provisto de una capota para protegerse del calor y la lluvia. [10]

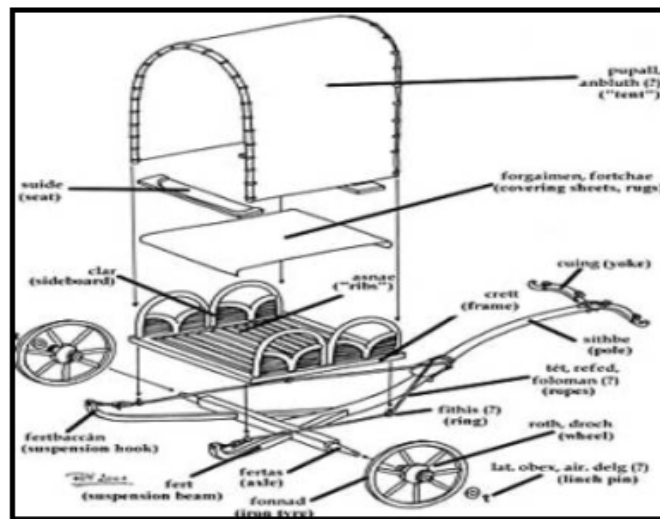


Figura 2.4: Carpentum

Carruca dormitoria: Adecuada para dormir en su interior.[10]



Figura 2.5: Carruca dormitoria

2.1.1 Los antecedentes

Se cuenta que Napoleón, en su campaña a Rusia, disponía de un carro especialmente construido donde podía dormir, comer, bañarse y mantener reuniones.

Charles Dickens describió en su novela *La vieja tienda de la curiosidad* (1840) uno de esos carros-vivienda con su cama, estufa, armario, lavabo, menaje de cocina, etc.

Las carretas o Goleta de la pradera fue el vehículo utilizado en el siglo XIX por los colonizadores del actual territorio de Estados Unidos para cruzar las praderas y montañas del oeste hacia los asentamientos fronterizos. Fueron apodadas *goletas de la pradera* a causa de la característica lona blanca que cubría las carretas, parecida a las velas de los barcos. [4]

Los carros-vivienda de los gitanos fueron los pioneros y los que marcaron la pauta durante años; a ellos les siguió el *carromato* para artistas de los circos y de todo ello se derivó lo que después se denominaría caravana, roulotte, caraván, etc. y adquirieran un uso marcadamente turístico.



Figura 2.6: Carro de artistas (1873)

En 1886 El Dr. Gordon Stables R.N., escritor de cuentos infantiles londinense, diseñó y mandó construir una carreta (llamada *The wonderer*) a la *Bristol Waggon Company*, que está considerada como el precedente de la caravana actual.

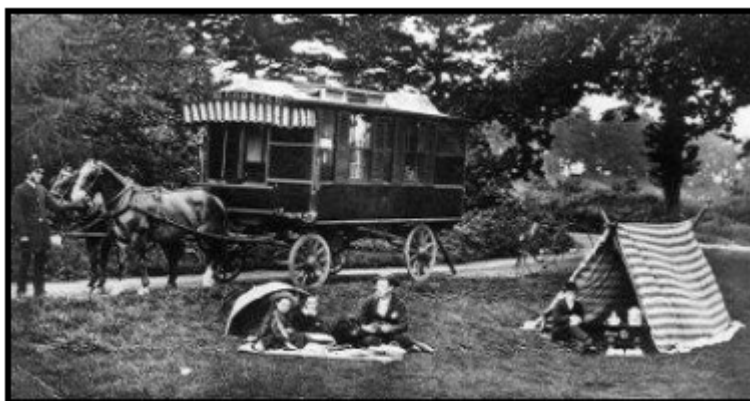


Figura 2.7: Primera caravana "The wonderer"

Su interior estaba inspirado en un vagón ferroviario de primera clase y en un salón de la época victoriana. La caravana estaba dividida en dos compartimentos (salón y cocina) separados por una puerta con cortinas. El salón tenía un sofá con cajones en su parte inferior para guardar mantas y ropas y servía como cama, un elegante sinfonier con un gran espejo, mesa, biblioteca y un pequeño piano.

La parte posterior estaba dedicada a la cocina, con lavabo de mármol, depósito de agua, una cocina desmontable para ser usada indistintamente en el interior o en el exterior y una pequeña mesa que también servía para formar una pequeña cama. Pesaba cerca de una tonelada y medía, 9 metros de largo, 1,65 de ancho y 3,3 metros de alto (medida desde el suelo). Debido a su peso sus viajes rara vez pasaban de 25 km diarios. A la caravana le precedía un triciclo, montado por un criado, que iba avisando a los peatones de la proximidad de la caravana.

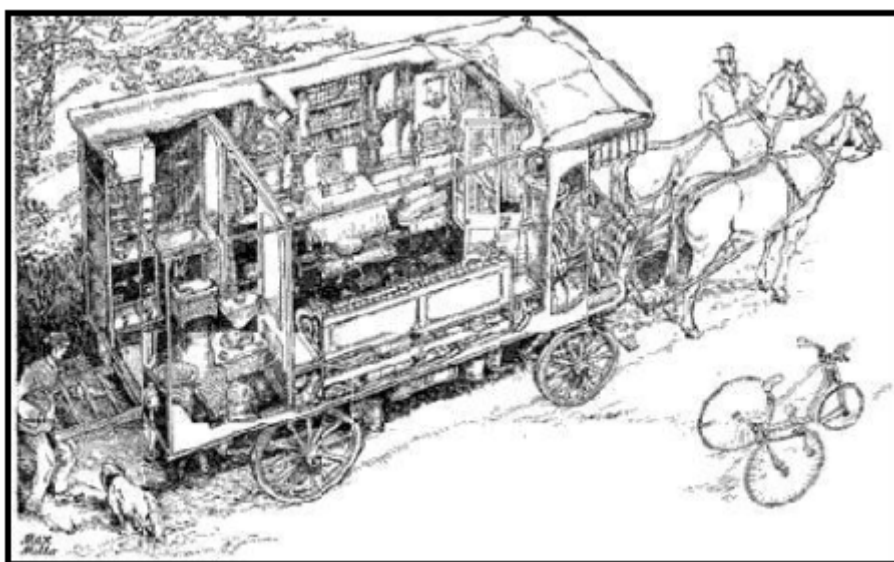


Figura 2.8: Especificación de la Primera caravana “The wonderer”

2.1.2 Innovaciones tecnológicas

En la Edad Media el uso de los carruajes sufrió un retroceso, sobre todo debido al ruinoso estado en que se encontraban las viejas calzadas romanas y lo penoso que resultaban los viajes en carruajes.

Las innovaciones tecnológicas en el transporte como la herradura, la collera, el árbol de varas (para enjaezar de forma efectiva los caballos a los carros) y el coche de caballos aceleraron el transporte de personas y mercancías. El uso de los carruajes fue resucitado, primero por la nobleza y más tarde por la burguesía acomodada. Uno de los primeros vehículos que aparece en la Edad Media fue la *whirlicote*, una especie de litera sobre ruedas tirada por caballos. [1]

El sistema ferroviario fue una de las innovaciones tecnológicas que marcaba una nueva época. En este medio de transporte se desarrolló un tipo especial de carro conocido

como road/rail. Aunque no se acabó con la tracción de los caballos, ya que siguieron siendo necesarios para el desplazamiento desde las estaciones hasta el lugar del asentamiento.



Figura 2.9: Primer Road/rail

El mayor inconveniente eran las restricciones de peso y altura de los carros de caballos. La aparición de los motores de tracción mecánica permitió, dejar la tracción animal.

En 1919 los fabricantes decidieron que la tracción mecánica era la más conveniente, desistiendo de la animal. Este tipo de tracción había aparecido ya en 1915. Después de 1920, la mayoría de los gitanos pasó de la tracción animal o de vapor a la gasolina y en los años 30 muy pocos de ellos viajaban ya a la antigua usanza. [4]



Figura 2.10: Caravana de tracción de gasolina

2.1.3 La fabricación industrial

La construcción industrial de caravanas comienza en Inglaterra (1912) con Eccles en Birmingham. En 1919 se construyen 50 unidades. Era una rudimentaria cabina con ruedas, de madera, con línea cuadrada y con cubierta de lona. Años después se introduce un techo con claraboya, lo que permite la entrada de luz.

Otro pionero inglés fue Fleming Williams, piloto de la I Guerra Mundial; en 1920 construye la primera caravana con líneas aerodinámicas, inspirada por la industria del aeroplano.

Bertran Hutchings construyó caravanas desde 1912 hasta 1920. Piggots, fabricante de tiendas, produjo alguna caravana con lonas y paneles rígidos. Ambos fueron los primeros en mostrar sus caravanas en la Exposición del Motor en 1920.

En esta época se fueron incorporando cada vez más características costosas a las caravanas: como claraboyas, baño, arcones, sistema de agua caliente (a gas) y fría, etc. Las caravanas se hacían cada vez más grandes y pesadas y eran un producto para gente adinerada.[4]

En 1930 se introdujo definitivamente la forma aerodinámica, desapareciendo el carácter y el encanto de las caravanas de los años 20. Bertram Hutchings presentó sus diseños aerodinámicos en la Exposición del Motor de 1930. A partir de aquí se construyeron muy pocas caravanas cuadradas.

En estos años 30, HYMER, reconocido fabricante de autocaravanas hoy en día inicia la producción de caravanas.

Arist Dethleff fabrica en 1931 su propia vivienda rodante para poder llevar consigo a su familia en sus numerosos viajes de negocios.



Figura 2.11: Caravana 1931

Los caravanistas eran muy pocos ya que la compra de un coche no estaba a la altura económica de la mayoría de los ciudadanos.

Cuando se inicia la II Guerra Mundial, la producción de caravanas paró casi por completo. Muchas compañías se dedicaron a la conversión, reparación y modificación de vehículos para adaptarlos a las necesidades de guerra.

Al acabar la guerra, la escasez de materiales y la penuria económica hicieron que las caravanas que se fabricaban fuesen de una naturaleza más utilitaria. Las claraboyas desaparecieron casi por completo. Las caravanas se abarataron y se convirtieron en un producto más asequible, ampliándose el mercado en la medida en que las rentas

aumentaron, permitiendo, a muchos propietarios de automóviles, disfrutar de una actividad hasta la fecha reservada a gente de renta alta. Al mismo tiempo fueron apareciendo más lugares donde acampar.

A principios de los años cincuenta la fabricación de caravanas comienza a disfrutar de años prósperos, destacando: [1]

- 1953 - *Gerhardt Bürstner* realiza de manera artesanal sus primeras caravanas en Neumühl.
- 1956 - En febrero de 1956 *Pedro Martinez Aznar* comenzó a fabricar la primera caravana española en sus talleres de la calle Tuset de Barcelona, de aquí el nombre de la “Caravanas Tuset”.
- 1957 - *Thrun y Eicker* fundan la marca TEC.
- 1960 - *Helmut Knaus* senior funda la sociedad de fabricación de caravanas Knaus KG en Markbreit. La primera caravana, llamada "Schwalbennert" aparece en 1961.
- 1960 - A principios de los 60 se empezaron a fabricar en Vitoria la CARAVELAIR; en Figueras con CARESA y en Zaragoza con MONCAYO. Más tarde, fueron montándose otras fabricas de caravanas: CATUSA en Vigo.
- 1962 - Aparece la empresa PLUMA, en Portugal.
- 1970 - En los años 70 ROLLER en Gerona (1973); BENIMAR en Benicarló, y ALONDRA en Vigo.
- 1972 - HYMER lanza su primera autocaravana.
- 1972 - Se crea en Vitoria la empresa Caravanas HERGO por los hermanos Francisco y Santiago Garaicoechea.
- 1973 - SUN ROLLER crea su primera fábrica.
- 1986 - Bürstner presenta su primera colección de autocaravanas.

Actualmente, en Europa, hay unos 200 fabricantes de autocaravanas con más de 2.000 modelos en el mercado. En su fabricación intervienen, básicamente, dos industrias distintas: los fabricantes de furgonetas industriales donde se monta la autocaravana, y los carroceros. Con respecto a los primeros, en el mercado español tres marcas fabrican la mayoría de vehículos que adaptan caravanas: Ford, Fiat y Mercedes aunque también Peugeot y Citroën fabrican vehículos adaptables a autocaravanas, con vehículos de transmisión delantera, motores turbodiesel de 2.000 a 2.800 centímetros cúbicos y entre 85 y 157 caballos.

2.2 Autocaravanas en Europa

El autocaravanismo aparece en Europa a finales de los años sesenta del siglo pasado en países pioneros como Reino Unido, Alemania, Francia e Italia. Desde entonces el número de vehículos ha ido aumentando hasta superar el millón de unidades.

En Europa, existen actualmente alrededor de 1.142.000 autocaravanas que practican turismo itinerante, lo que representa más de 3,4 millones de personas, según datos de la *European Caravan Federation (ECF)*. Alemania, Francia e Italia son los países que lideran actualmente el mercado del sector de la autocaravana. España actualmente ocupa el undécimo lugar.

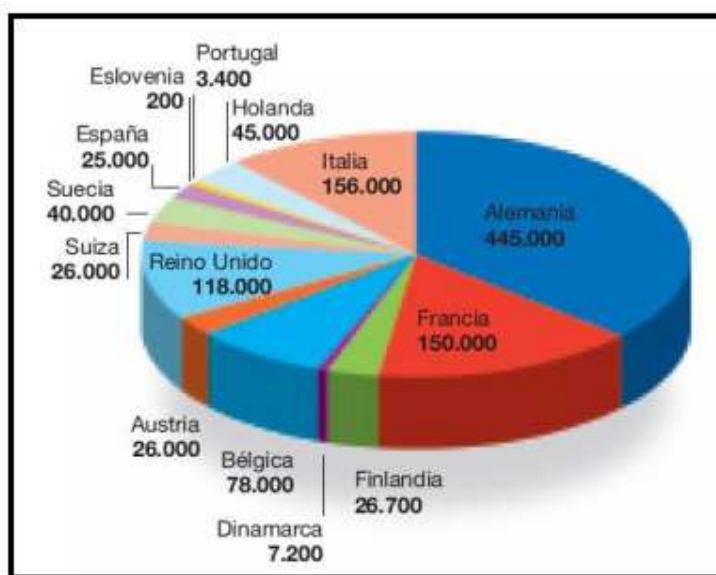


Figura 2.12: Censo autocaravanas en la Unión-Europa (2006)

2.3 Autocaravanas en España. Marco actual

El autocaravanismo aparece en Europa a finales de los años sesenta del siglo pasado en países pioneros como Reino Unido, Alemania, Francia e Italia. Desde entonces el número de vehículos ha ido aumentando hasta superar el millón de unidades.

España se suma a Reino Unido, Alemania, Francia e Italia a comienzos de los noventa, experimentando en los últimos años un importante crecimiento hasta alcanzar las 30.000 unidades, con un número de usuarios próximos a las 90.000 personas, considerando una media de tres personas por autocaravana.

El hecho de que no se dispongan de datos más exactos se debe a que en España no existía un censo de este tipo de vehículos. En el año 1998 se incluyó en el *Reglamento General de Vehículos* su catalogación específica, por lo que todos los vehículos registrados con anterioridad a este año no están contemplados.

Este incremento en el número de autocaravanas en España ha puesto de manifiesto, la necesidad de introducir las mejoras necesarias en materia de reglamentación, infraestructuras, señalización, servicios y planificación turística sobre dichos vehículos.

El actual momento del fenómeno autocaravanista y las perspectivas de futuro en lo que se refiere a su crecimiento tanto en España como en el conjunto de Europa, demanda, por lo tanto, revisar la normativa de tráfico, considerando la movilidad en autocaravana una alternativa más de desplazamiento.

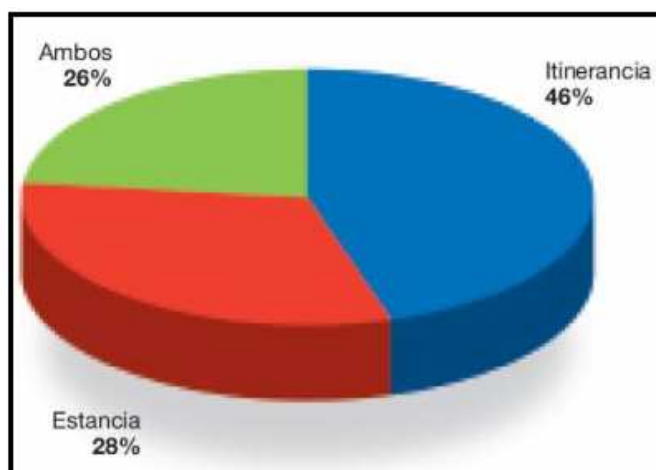


Figura 2.13: Tipo de uso de la autocaravana en España

En 2007 la DGT impulsó la creación del grupo de trabajo “GT 53 Autocaravanas” para resolver los diferentes problemas que tiene el sector de la autocaravana, elaborando propuestas y planteando soluciones en el ámbito de seguridad vial y movilidad. Además este grupo debía adoptar las medidas que fueran necesarias para apoyar el desarrollo de la actividad autocaravanista, así como abordar la problemática del sector, reflejada en sus cuatro puntos, relativos a normativas sobre velocidad, señalización, infraestructura, etc. para que esta actividad se realice en las mejores condiciones.

Uno de los resultados del GT 53 es la guía “La movilidad en autocaravana. Contexto y propuesta de actuación”, que recoge todos los puntos tratados por el grupo de trabajo a lo largo de un año.

Han formado parte de dicho grupo de trabajo, las siguientes instituciones y colectivos.

- Dirección General de Tráfico (DGT)
- Ministerio de Fomento
- Ministerio de Medio Ambiente
- Junta de Andalucía
- Federación Española de Municipios y Provincias
- Plataforma de Autocaravanas Autónomas (LAPACA)
- Asociación de Comercio del Caravaning (ASEICAR)

Este grupo de trabajo, comprometido con la integridad medioambiental ha trabajado para que el “caravaning” sea un turismo sostenible, creando entre otros una nueva señal específica para los servicios de autocaravanas, señal S-128, con la inscripción “punto de vaciado ecológico” o elaborando una Instrucción sobre Autocaravanas en la que la

DGT ha recopilado en un único documento todos los aspectos normativos que, relacionados con el autocaravanismo, se recogen en la legislación sobre tráfico y circulación de vehículos a motor, así como técnicas de buen uso y medioambientales.



Figura 2.14: Señal S-128 “punto de vaciado ecológico”

2.3.1 Mercado del sector

El mercado de compra y venta de autocaravanas de segunda mano en España ha ido progresivamente en aumento gracias a que la situación actual que representa el sector con incremento progresivo del parque de autocaravanas, hace que se encuentren en el mercado vehículos, con mayores y mejores prestaciones y en un mejor estado de conservación.

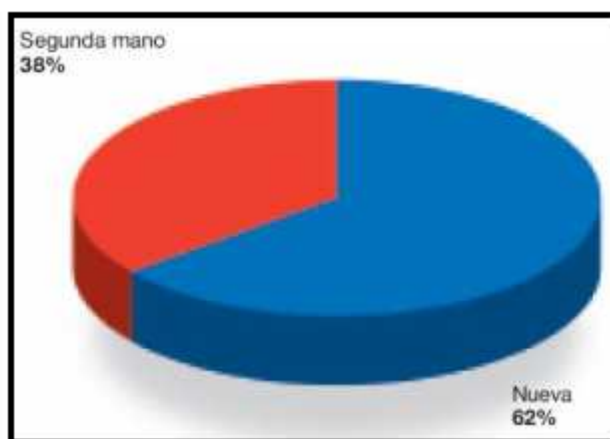


Figura 2.15: Forma de acceso a las autocaravanas en España.

La tendencia actual es la compra de autocaravanas de segunda mano, así como la utilización de estos vehículos como vivienda permanente.

El sector económico de las autocaravanas en España (2005) facturó más de 450 millones de euros anuales con la matriculación de más de 3.000 autocaravanas, proporcionando empleo a unos 1.700 trabajadores.

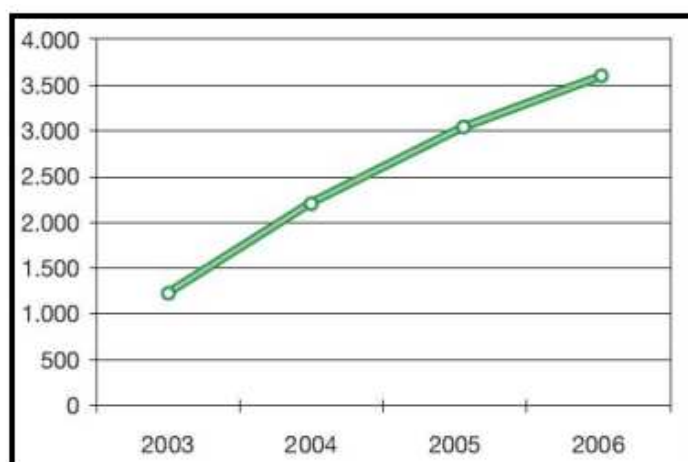


Figura 2.16: Evolución autocaravanas en España.

La fabricación y venta de caravanas y autocaravanas durante los últimos cincuenta años ha sufrido altibajos por diversas razones. La figura 2.16 muestra la evolución que han sufrido este tipo de vehículos. [7]

1940-2009

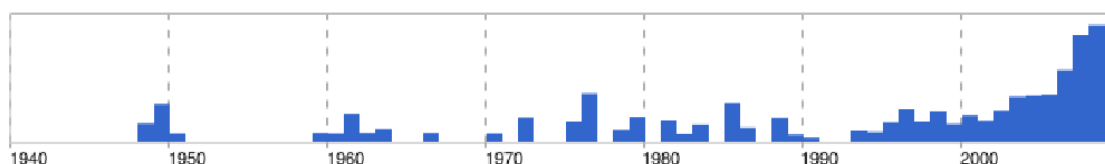


Figura 2.17: Evolución industria autocaravanas (1940-2009)

En los últimos diez años este sector experimentó un crecimiento paulatino. En 2008 la situación económica española hizo que las ventas se mantuviesen. En 2009 la venta de este tipo de vehículos aumentó en el segundo trimestre considerablemente. [7] [8]

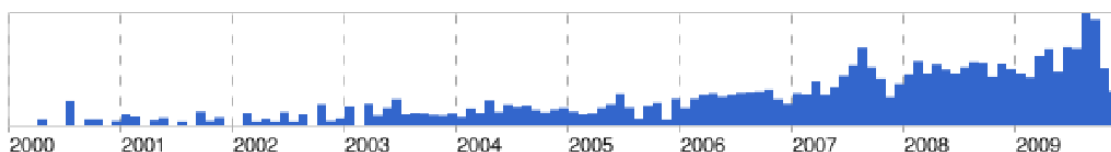


Figura 2.18: Evolución industria autocaravana (2000-2009)

2.4 Definición y clasificación

El turismo itinerante puede ser realizado utilizando “Caravanas” o “Autocaravanas”.

Una “*Caravana*” o casa móvil, es un vehículo de remolque cerrado que incluye en él un mobiliario básico en su interior a modo de casa u hogar, normalmente con el objetivo de usarlo de vivienda durante los viajes, empleando como elemento tractor, para su desplazamiento, un automóvil. Vehículo, con motor o remolcado por otro, acondicionado para hacer vida en su interior aprovechando al máximo el espacio, se utiliza generalmente para camping.

Una “*Autocaravana*” es un vehículo clasificado por el código de circulación como un automóvil, que incluye un mobiliario básico en su interior a modo de casa u hogar, homologado para ser usado como vivienda durante los viajes. La autocaravana está dotada de motor y de un sistema de dirección.

El objeto de este proyecto es el diseño de una caja-vivienda con la que satisfacer las mismas necesidades que una autocaravana. Las autocaravanas se clasifican en cuatro clases, según el tipo de acoplamiento con el chasis-cabina de base que da lugar a su forma exterior. A continuación se presentan los cuatro tipos de autocaravanas existentes en el mercado.

2.4.1 Autocaravanas “*Capuchinas*”

La cabina habitable se compone de un elemento externo, conjugado durante la construcción con un motor. Una particularidad de este tipo de autocaravana es el prolongamiento del extremo de la cabina sobre el habitáculo de conducción, en el cual se ubica una cama fija, amplia y cómoda. Se trata de una de las versiones más extendidas y conjuga la relativa facilidad de construcción con la posibilidad para acomodar un buen número de pasajeros, típicamente entre 4 y 6, sin un sacrificio excesivo de los espacios comunes a bordo.[1]



Figura 2.19: Autocaravana Capuchina

La usuabilidad de este tipo de autocaravana permite que para estancias prologadas pueda guardarse en sus puertas laterales y maletero tiendas que aumentan la superficie protegida de las inclemencias del tiempo.

2.4.2 Autocaravanas “Perfiladas”

En las autocaravanas perfiladas, la cabina habitable se compone de un elemento externo, montado en fábrica sobre un chasis-motor. Suelen tener una altura menor que las capuchinas, por lo que resultan más rápidas y consumen menos, pero tienen también poco espacio libre.[1]



Figura 2.20: Autocaravana Perfiladas

Sobre la cabina hay un armario en lugar de un dormitorio. Este tipo de autocaravanas es recomendado para 2-4 personas que realicen desplazamientos largos y continuados.

2.4.3 Autocaravanas “Integrales”

La cabina habitable forma un solo cuerpo con el chasis motor. Se trata del tipo más lujoso y costoso, ideales para 2-4 personas, ya que la estructura entera se construye a medida usando solo el motor del vehículo original del que deriva.

Es también la solución adecuada para las personas que requieran mayor espacio cuando el peso no se considera esencial. El diseño de la autocaravana no se parece al del vehículo comercial del que procede el chasis, por lo que la cabina habitable se rediseña para utilizar de la mejor forma el espacio disponible. El habitáculo destinado a alojar al conductor durante la marcha también se convierte en parte integral del ambiente habitable durante los estacionamientos.[1]



Figura 2.21: Autocaravana Integrales

Las lujosas autocaravanas integrales que sirven de alojamiento a los pilotos de las competiciones de motor durante el transcurso de las carreras son muy publicitarias y a menudo incluso históricas.

2.4.4 Autocaravanas “Cámpers”

El cámper es una furgoneta adaptada, conservando las dimensiones exteriores de las construidas en serie. Posteriormente se le añade el aislamiento térmico, los muebles y todos los sistemas necesarios para la vida a bordo. Pueden también estar dotadas de techo realzado de serie o añadido con posterioridad, esto último sólo cuando es un techo “postizo”, generalmente de vitrorresina, que puede ser levantado desde el interior girando sobre las bisagras de un extremo, o bien puede ser levantado completamente, contando con paredes extensibles confeccionadas con un material flexible similar al de las tiendas de acampada.[1]



Figura 2.22: Autocaravana Volkswagen Combi (Cámper)

Estos vehículos, a pesar de tener una habitabilidad inferior a los demás, son apreciados por ser muy manejables y tener unas dimensiones de longitud, anchura y altura

inferiores a las de otra tipología. Esto los hace también más rápidos y menos exigentes en cuanto a combustible.

2.5 Vehículo base

En el mercado de vehículos comerciales existe una gran variedad de modelos, los cuales poseen características técnicas y dimensionales diferentes. Se pretende montar la caja-vivienda diseñada sobre el vehículo del que dispone (NISSAN L-35.09), por lo que se ha tomado como referencia para el diseño.

El diseño de la caja-vivienda que se acoplará al vehículo base, es una combinación entre “Cámpers” y “Capuchinas” debido a que es un vehículo comercial transformado a caravana con caja ensamblada a un chasis comercial.

El diseño de la caja-vivienda ha de cumplir con las normativas de la DGT y Ministerio de Industria, por lo que se ha tomado como referencia las dimensiones de la caja que el vehículo monta actualmente. Además el diseño ha de cumplir unas exigencias mínimas de calidad.

Las características técnicas de este vehículo base son las siguientes: [9]

VEHÍCULO	
Nº Bastidor	--
Marca Tipo Variante	NISSAN
Tipo	L-35.09
Variante	L-35.09/2
Modelo (Denominación comercial)	L-35.09
Nº Ruedas	6
Dimensiones de neumáticos	205 / 75 R16 C
Tara (kg)	2620
Masa máxima autorizada (kg)	3500
Masa máxima autorizada 1º eje	1950
Masa máxima autorizada 2º eje (kg)	2000
Altura total (mm)	3290
Anchura total (mm)	2130
Altura C.D.G. Vehículo (mm)	1500
Altura C.D.G. 2º eje (mm)	1374
Vía anterior (mm)	1701
Vía posterior (mm)	1573
Longitud total (mm)	6760
Voladizo posterior (mm)	1930
Distancia entre ejes (mm)	3200
Nº Plazas	3 en cabina
Tipo de vehículo	Caja cerrada
DIMENSIONES DE LA CAJA	
Largo (mm)	4600
Ancho (mm)	2100
Alto (mm)	2000
Superficie en planta (m ²)	9,66
Volumen (m ³)	19,32

Tabla 2. 1: Características del vehículo comercial NISSAN L-35.09

3.- SELECCIÓN DE ELEMENTOS

3 SELECCIÓN DE ELEMENTOS

3.1 Consideraciones en el estudio

En un principio, el diseño de la caja-vivienda irá encaminado a obtener una estructura móvil capaz de desplazarse lateralmente de una forma eficiente y segura. Para ello, se estudiarán varios sistemas que permitan aumentar la superficie habitable.

Las premisas seguidas para el guiado de las decisiones sobre la elección de las diferentes alternativas se muestran a continuación.

- Se ha valorado por encima de cualquier otro criterio el nivel de estandarización de cualquier componente. Evitando así, soluciones especiales con objeto de facilitar las posibles modificaciones y el futuro mantenimiento del producto final.
- Se pretende que todos los componentes cumplan con los objetivos establecidos en el comienzo del presente proyecto.
- La solución más económica ha sido valorada muy positivamente, así como el menor tiempo de entrega por parte de los proveedores. Debido a que a priori no es un producto que se fabricará en serie, sino que es de uso particular.
- El bajo peso de los elementos a utilizar es un factor muy importante. Se trabaja con una limitación de peso, la cual, no ha de superarse ya que esto supondría una modificación del vehículo base.

3.2 Estudio sobre selección de estructura principal

Se considera que la estructura principal es el esqueleto de la caja, esta estructura deberá de disponer de un sistema que le permita ampliar su superficie habitable además de soportar los esfuerzos que las cargas generen sobre ella. La estructura principal ha de proporcionar una gran estabilidad al conjunto.

Componentes tales como paneles, mobiliario, ventanas, etc., así como personas, equipaje, irán colocados sobre dicha estructura. Dichos componentes transmitirán sus cargas a los elementos que la constituyen. Mediante planchas, de espesor y material aún por determinar, unidas a la estructura que es seleccionada en el presente apartado. Se valorará la forma más adecuada para unir las planchas y la estructura.

3.2.1 Evaluación de alternativas

a) Estructura de tubos redondos

Se pretende diseñar una estructura resistente ante esfuerzos variables y cargas descentradas, es por ello que se plantea la posibilidad de ensamblar una estructura basándose en tubos redondos huecos, que proporcione rigidez y sirva de sustento a las planchas que irán colocadas sobre la estructura.



Figura 3. 1: Viga de perfil redondo

b) Estructura mediante perfiles tipo “L”

También conocidos como perfiles angulares. Esta clase de perfiles son muy utilizados en la fabricación de cajas de furgonetas que no están sometidas a elevadas solicitaciones. A priori, para el dimensionado de la estructura principal este tipo de perfil no es aplicable.

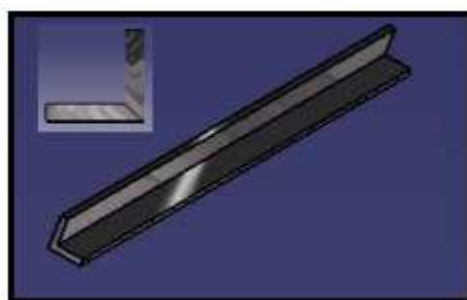


Figura 3. 2: Viga de perfil tipo “L”

c) Estructura mediante perfiles tipo “C”

Estos perfiles son muy utilizados en automoción. A priori, y siguiendo el diseño que se presentará en el siguiente capítulo este tipo de perfil presenta una alternativa interesantes para su aplicación en el diseño.

Este perfil además permite ser utilizado como guía. A medida que se vaya realizando el diseño se decidirá si es aplicable.

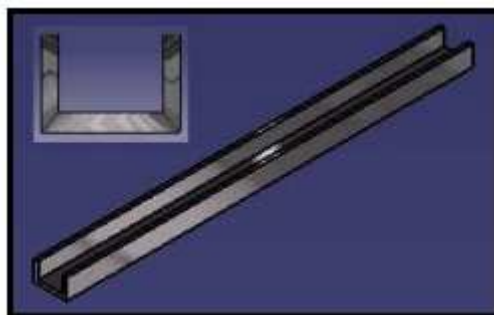


Figura 3. 3: Viga de perfil tipo "C"

d) Estructura mediante perfiles tipo "IPN"

Este tipo de perfil (Acero) son muy utilizados en construcción especialmente para los dinteles, en los cuales se colocarán las correas que dan soporte al techo. Estos perfiles permiten disponer de una buena resistencia a flexión de la viga con un relativo bajo peso. Esto se debe que a mayor alma mayor resistencia de la viga.

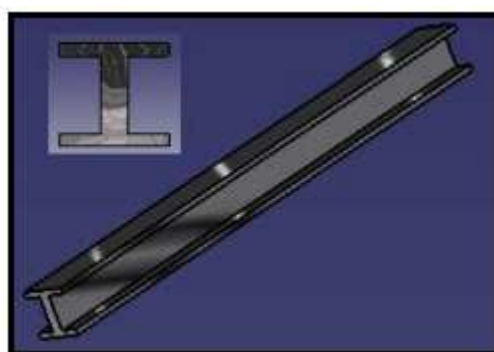


Figura 3. 4: Evaluación tipo IPN

e) Estructura mediante perfiles de caja

Este tipo de perfil junto con los perfiles angulares, son los más utilizados en la industria automovilística. Presenta las mismas propiedades mecánicas en cualquiera de sus laterales. Este tipo de perfil posee unas muy buenas propiedades frente a flexión debido a que, en comparación con los perfiles IPN, tiene el doble de ancho de alma, a cambio presenta un mayor peso. Una de las principales ventajas de este tipo de perfiles es que al ser un perfil cerrado con un hueco interno de superficies planas, se puede utilizar como guía para otro perfil de menores.

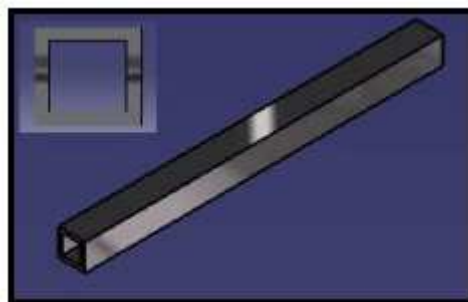


Figura 3. 5: Viga de perfil tipo “Caja”

3.2.2 Conclusión

Atendiendo a las solicitaciones de la estructura, se descartan los siguientes perfiles:

- Perfiles de tubo redondo
- Perfiles tipo “L”

Atendiendo a las necesidades del diseño se tomarán unos perfiles u otros, en función de la facilidad de su ensamblaje final. En el Anexo II se muestran los resultados del desarrollo de una tabla *Excel* para el cálculo de los momentos de inercia de cada uno de los perfiles a utilizar en el modelo *Catia*. Esta tabla *Excel* permite conocer a priori las características mecánicas de los perfiles evitando de este modo tener que redimensionar la estructura.

Los perfiles a utilizar son:

- Perfiles tipo “I”
- Perfiles angulares tipo “C”
- Perfiles de caja

A medida que se vaya realizando el diseño se decidirá que perfiles han de utilizarse. Se tratará de utilizar en el diseño el perfil de caja (60x60x5) del que se dispone.

3.3 Estudio de selección de materiales estructurales

Al tratarse de un producto no fabricado en serie se premiarán soluciones estandarizadas en la selección de los componentes de la caja-vivienda que cumplan con las solicitaciones requeridas.

A falta de que el análisis de viabilidad de la estructura sea favorable, debe de haber un compromiso entre el peso del material y la resistencia mecánica de este, debido a que el vehículo base a utilizar tiene limitaciones de carga.

3.3.1 Evaluación de alternativas

a) Acero (bajo contenido en carbono)

Los aceros con bajo contenido en carbono son aquellos aceros que poseen menos de un 0,25% de carbono. Esto hace que sus costes de fabricación sean bajos ya que no requiere de grandes aportes de carbono ni de costosos y complejos tratamientos térmicos. El material es proporcionado por la empresa “MC S.L.”, dicho material se recibe tal y como salió de la acería. De ahí que sus propiedades mecánicas no sean muy altas.

La tabla 3.1 muestra las características mecánicas del acero ofertado.[5]

ACERO	
Módulo de elasticidad (GPa)	210
Módulo de corte (GPa)	80
Resistencia a tracción (MPa)	350-530
Densidad media (kg/m³)	7850
Resistencia mecánica (MPa)	540-800
Reducción de área (%)	23-30
Dureza HB	140
Temperatura de fusión (°C)	1375
Punto de ebullición (°C)	3000
Conductividad eléctrica (S/m)	$3 \cdot 10^6$
Coefficiente de dilatación (k^{-5})	$1,2 \cdot 10^{-5}$
Conductividad térmica W/(m·K)	47-58
ν_f (Coeficiente Poisson)	0,3

Tabla 3. 1: Características mecánicas del acero

La tabla 3.2 muestra las ventajas e inconvenientes del uso del acero para la fabricación de la estructura principal.

VENTAJAS	INCONVENIENTES
Bajo coste de adquisición	Elevada densidad
Fácil de soldar y ensamblar	Problemas de corrosión y oxidación
Bajo tiempo de entrega	Requiere mantenimiento en entornos agresivos
Gran variedad de perfiles y tubos	Bajas propiedades mecánicas

Tabla 3. 2: Evaluación del uso de acero.

b) Aluminio

El aluminio es un metal que posee una serie de propiedades que lo hacen muy útil para su uso en ingeniería mecánica. Entre ellas destaca su baja densidad y su resistencia a la corrosión. Generalmente se alea para aumentar considerablemente su resistencia mecánica. El material es proporcionado por la empresa “MC S.L.”, con una dilatada experiencia en el trabajo con aluminio.

La tabla 3.3 muestra las características mecánicas del aluminio.[5][15][18]

ALUMINIO 6005 T6 (AlMgSi 0,7 F28)	
Módulo de elasticidad (GPa)	70
Módulo de corte (GPa)	27
Resistencia a tracción (MPa)	74
Densidad media (kg/m³)	2700
Resistencia mecánica -Límite elástico (MPa)	270
Resistencia mecánica-Límite de servicio (MPa)	225
Reducción de área (%)	8
Dureza HB	90
Temperatura de fusión (°C)	660
Conductividad eléctrica (m/(Ω mm²))	32
Coeficiente de dilatación (K ⁻¹)	23,4 · 10 ⁻⁶
Conductividad térmica (W/(m·K))	209
νf (Coeficiente Poisson)	0,32

Tabla 3. 3: Características mecánicas del aluminio

La tabla 3.4 muestra las ventajas e inconvenientes del uso de aluminio para la fabricación de la estructura principal.

VENTAJAS	INCONVENIENTES
Baja densidad	Baja soldabilidad
Gran variedad de perfiles extruidos	Baja resistencia a tracción
Posee una gran vida útil	Material muy blando. (2-3 Escala de Mohs)
Fácil de mecanizar	Material susceptible a holguras en las uniones roscadas
Alta resistencia a la corrosión	Mayor coste de adquisición que el acero

Tabla 3. 4: Evaluación del uso de aluminio.

3.3.2 Conclusiones

Una vez evaluadas las alternativas planteadas se opta por utilizar los tres tipos de materiales en distintas partes de la estructura.

Se utilizarán acero de bajo contenido en carbono para la base de la estructura, así como para soportes de elementos rodantes, uniones entre chasis y caja, tornillería, apoyos de la estructura, etc. Se utilizará acero por su bajo coste, rápida entrega, soldabilidad y resistencia.

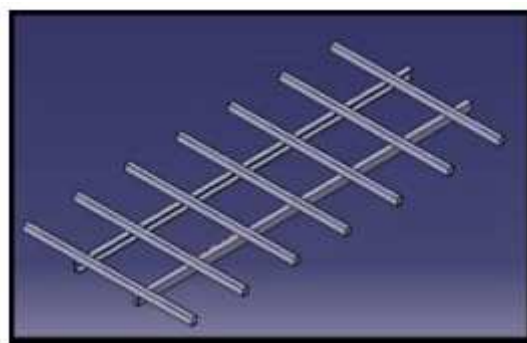


Figura 3. 6: Base de la estructura móvil fabricada en Acero

Se utilizará aluminio para el resto de la estructura principal. Se utilizará aluminio por su baja densidad ya que se pretende diseñar una estructura ligera y resistente. Las uniones entre elementos estructurales se realizará mediante soldadura o remaches.

MATERIAL SELECCIONADO → ACERO Y ALUMINIO

3.4 Estudio de selección de materiales No estructurales

Este apartado indica las características de una serie de materiales que no conforman la estructura principal de la caja vivienda. La selección de estos materiales se debe principalmente a las propiedades ideales que presentan para el objeto de este proyecto.

La información de los siguientes materiales proporciona la información suficiente para considerar sus efectos sobre la estructura principal.

a) Materiales compuestos

Los materiales compuestos están hechos de dos o más componentes combinados sinérgicamente dotando al material de unas propiedades mecánicas excelentes. Las fibras (responsables de las propiedades mecánicas) sirven para resistir la tracción, la matriz (responsable de las propiedades físicas y químicas) resisten las deformaciones.

De entre la gran variedad de combinaciones posibles se ha elegido fibra de vidrio con matriz de poliéster por sus buenas propiedades mecánicas, bajo peso y coste.

Se utilizarán planchas de fibra de vidrio con matriz de poliéster para las bases de las dos plantas donde se apoyará el mobiliario, así como los ocupantes de la vivienda. Las uniones entre planchas y plancha-estructura se realizarán mediante adhesivos y reforzado por medios mecánicos que se definirán en este capítulo.

Las planchas de material compuesto serán de estructura sándwich con núcleo de panel de abeja y pieles de fibra de vidrio con matriz de poliéster.

La tabla 3.5 muestra las características mecánicas de los materiales compuestos (estructura sándwich).[5]

Material compuesto	Fibra Vidrio	Poliester (Matriz)
Módulo de elasticidad (Gpa)	74	2,5
Módulo de corte (Gpa)	30	1,2
Resistencia a tracción (Mpa)	35	60
Densidad media (g/cm ³)	2,45	1,38
Coefficiente de dilatación (K ⁻¹)	$0,5 \cdot 10^{-5}$	$35 \cdot 10^{-6}$
Conductividad térmica (W/m°C)	1	--
vf (Coeficiente Poisson)	0,22	0,33
Coste	0,7	2

Tabla 3. 5: Características mecánicas de los materiales compuestos (estructura Sándwich)

La tabla 3.6 muestra las ventajas e inconvenientes del uso materiales compuestos.

VENTAJAS	INCONVENIENTES
Baja densidad	Elevado coste de adquisición
Elevadas propiedades mecánicas.	No es posible utilizar un procedimiento de soldadura
Se pueden unir mediante pegamentos obteniendo uniones de óptimas prestaciones mecánicas	Susceptible a la laminación ante golpes y fatiga
Posee una gran vida útil ya que no se degrada ni se oxida	

Tabla 3. 6: Evaluación del uso de materiales compuestos

b) Madera

El mobiliario a instalar en la caja-vivienda estará fabricado de madera conglomerada. Son planchas (placas, tableros, etc.) hechas con una mezcla de partículas de madera (generalmente pinos) y colas especiales, prensadas en condiciones de presión y temperatura controladas. Obteniéndose planchas de Aglomerado, de medidas fijas estandarizadas, con características mecánicas y físicas uniformes y bien definidas.[21]

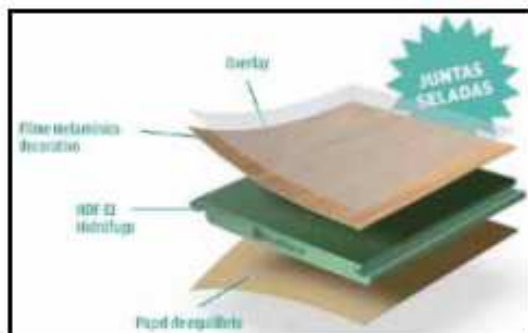


Figura 3. 7: Composición de madera conglomerada

Estas planchas de Aglomerado pueden ser enchapadas, melaminizadas, o decoradas para diversas aplicaciones. La densidad media de este material es de 200kg/m^3 .

Entre la gran variedad de maderas existentes en el mercado es aconsejable utilizar laminados hidrófugos debido a que son tableros de altas prestaciones mecánicas, alta maquinabilidad y homogeneidad, adecuados para su uso en aplicaciones de alta exigencia en fabricación de mobiliario, suelos, o para su uso en la construcción. Además posee una superficie muy adecuada para el pintado.

La utilización de estos materiales permite contribuir a un desarrollo sostenible así como proteger el medio ambiente debido a que las materias primas utilizadas para la fabricación de los tableros constituyen subproductos de otros sectores incluidas las masas forestales.

FUENTE	TIPO DE MATERIAL
Aprovechamiento del monte	Puertas, ramas gruesas y pies delgados. Maderas.
Serrerías	Virutas, serrín. Serrín
Contrachapado	Virutas, serrín.
Carpinterías	Viruta, recortes y serrín.
Fábricas de tablero austonado	Viruta, recortes y serrín.
Tableros de partículas	Recortes
Otras Industrias forestales	Astillas, virutas y serrín
Reciclado	Muebles usados, pallets desechados, tableros, cajas de envases usados, embalajes, encofrados usados, etc.

Tabla 3. 7: Materiales aprovechados por el sector del tablero como materia prima

c) Aislante

Como aislante térmico-acústico se utilizará una mezcla de lanas, poliéster y fieltro. Este es un perfecto aislante térmico (frio/calor) y acústico. Se utilizará para el interior de puertas y paredes. [11]



Figura 3. 8: Aislante Térmico-Acústico

Este aislante tiene la ventaja de ser sencillo de cortar y colocar, solo hay que sacar el film protector y colocarlo donde se desea. Las características de este aislante son:

- Color: Gris
- Medidas paneles: 60 x 90 cm
- Grosor: 10 mm
- Características: Autoadhesivo

El uso de distintos materiales para cada una de las partes de la estructura se debe a la necesidad de obtener un diseño de la estructura ligero, resistente, económico y funcional. El diseño específico no se realizará en el presente documento.

3.5 Estudio sobre selección del sistema de apertura

3.5.1 Evaluación de alternativas

Se analizan los sistemas que permitan aumentar la superficie habitable. En el mercado existen infinitos sistemas de desplazamientos, con una gran variedad de actuadores, a continuación se realiza un estudio del sistema más adecuado para cubrir las necesidades del diseño.

a) Actuadores neumáticos

El concepto de neumática trata sobre los fenómenos y aplicaciones de la sobrepresión o depresión (vacío) del aire. La mayoría de las aplicaciones neumáticas se basan en el aprovechamiento de la sobrepresión.

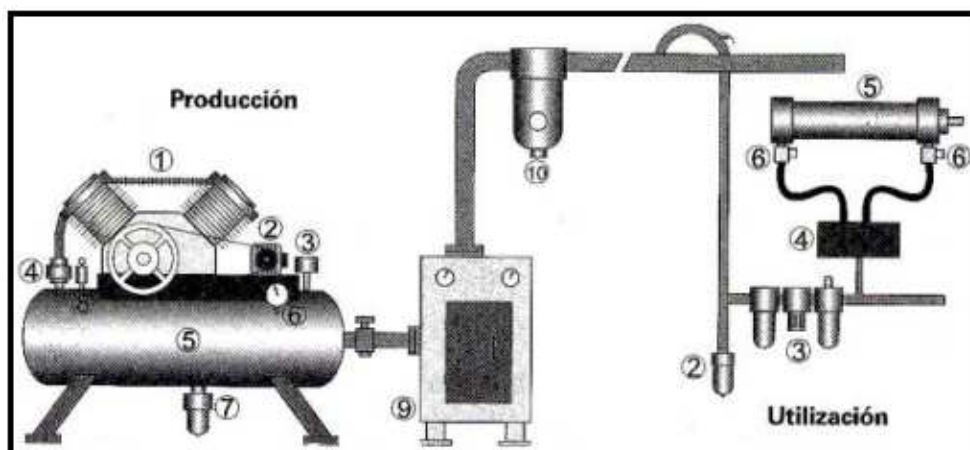


Figura 3. 9: Actuadores neumáticos

La neumática se dedica al estudio y aplicaciones prácticas del aire comprimido como fuente de potencia. Para conseguir aire a una cierta presión se requiere un compresor, generalmente de grandes dimensiones y grandes consumos de corriente. Los elementos neumáticos necesarios serían sencillos, a priori, con un par de cilindros de doble efecto con el cual se podría lograr movimiento bidireccional.

La tabla 3.8 muestra las ventajas e inconvenientes del uso de un sistema neumático.

VENTAJAS	INCONVENIENTES
El aire es abundante y el coste es nulo (recurso inagotable)	Requiere un compresor de gran peso y elevados consumos
Se transforma y almacena fácilmente	Requiere un mantenimiento de la instalación
Lubricación del aire de forma automática (unidad de mantenimiento)	Para cargas elevadas, se requieren grandes diámetros de émbolo y gran tamaño de los cilindros
Tecnología sencilla y barata	Aplicaciones en instalaciones estáticas.
No contamina	Las fugas son prácticamente inevitables
Carece de combustión con la temperatura	Riesgo de explosión en accidente

Tabla 3. 8: Evaluación del uso de actuadores neumáticos

b) Actuadores hidráulicos

Los dispositivos oleohidráulicos, o más generalmente “Dispositivos Hidráulicos” son sistemas de transmisión de energía en los cuales el medio es un fluido teóricamente incompresible.

La hidráulica se dedica al estudio y aplicaciones prácticas de transmisión a través de fluidos (generalmente aceite). Al igual que en neumática se requiere de un depósito de grandes dimensiones y grandes consumos de corriente.

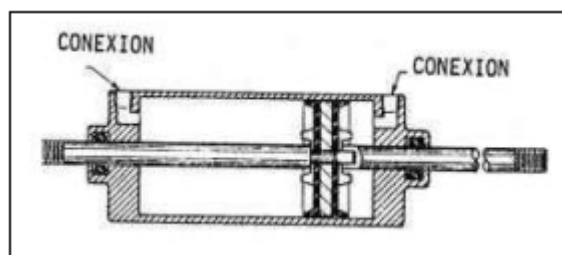


Figura 3. 10: Actuadores hidráulicos

Los elementos hidráulicos necesarios serían sencillos, a priori, con un par de cilindros de doble efecto se podría lograr movimiento bidireccional.

La tabla 3.9 muestra las ventajas e inconvenientes del uso de un sistema hidráulico.

VENTAJAS	INCONVENIENTES
Fiabilidad y precisión de mando muy importantes.	Requiere un depósito de gran peso, filtros, juntas, etc.
Permite la utilización conjuntamente con controles eléctricos y electrónicos.	Las fugas son prácticamente inevitables
No requiere esquemas especiales para proteger a las personas.	El fluido recorre las conducciones con cierta dificultad, debido principalmente a su viscosidad
El aceite es naturalmente lubricante. Posee propiedades contra la corrosión.	Peso elevado
Fluido ligeramente compresible.	Requiere un mantenimiento de la instalación
	Inflamabilidad del aceite.

Tabla 3. 9: Evaluación del uso de actuadores neumáticos

c) Transmisión por correa

Las correas se utilizan como sistema de transporte y en transmisión de potencia mecánica a distancias relativamente elevadas.



Figura 3. 11: Transmisión por correa

En la actualidad el sector de las correas de transmisión ha evolucionado considerablemente, ofreciendo gran diversidad de correas, como de materiales para estas.

Las ventajas e inconvenientes de las transmisiones por correas se muestran en la tabla 3.10.

VENTAJAS	INCONVENIENTES
Tecnología sencilla y barata	Requiere sensores fin de carrera.
Bajos niveles de ruido	Potencia a transmitir limitada.
Rendimiento similar a los de una transmisión mediante engranajes (0,97-0,98).	A igualdad de potencia de transmisión, es más voluminosa que una transmisión de engranajes
Sencillo de fabricar, montar y mantener	Requiere gran precisión en las guías horizontales.
Gran absorción y amortiguamiento.	Requieren del diseño de un complejo mecanismo.
Puede transmitir potencia entre ejes no paralelos.	No admite grasa ni aceites
Protege de sobrecargas	Problemas de deslizamiento
Económicos	Desgaste y envejecimiento. Pérdida de elasticidad

Tabla 3. 10: Evaluación del uso de transmisión por correas.

d) Transmisión por cadena

Se denomina cadenas articuladas a todas aquellas cadenas que tienen en cada paso una articulación completa, compuesta de bulón y cojinete de apoyo o dos pasadores de media caña.

Las características de una transmisión por cadenas esta a medio camino entre la de una transmisión mediante correas y una de engranajes.



Figura 3. 12: Transmisión por cadena

El uso de una transmisión por cadena, alimentada por un motor eléctrico, es una alternativa muy interesante de evaluar debido a la capacidad de transmitir elevados pares. Uno de sus mayores inconvenientes es el engrase permanente que deben poseer las cadenas y piñones. La zona donde se situaría la cadena, es una zona sucia, lo cual agrava el riesgo por ataque de agentes externos.

Las ventajas e inconvenientes de las transmisiones por cadena se muestran en la tabla 3.11.

VENTAJAS	INCONVENIENTES
Tecnología sencilla y barata	Requiere sensores fin de carrera.
Capacidad de transmisión de pares elevados	Requieren un mantenimiento manual.
Transmisión entre ejes a grandes distancias	Requieren un diseño de un complejo mecanismo
Pueden aguantar condiciones ambientales muy duras	Ha de mantener tensiones constantes en la rama de trabajo.
Relación de transmisión constante y sin peligro de deslizamientos.	Lubricación de piñones y cadena de manera manual.
Rendimiento aproximadamente del 98%	

Tabla 3. 11: Evaluación del uso de transmisión por cadena

e) Gato mecánico (husillo de rosca trapezoidal)

El sistema de husillo de rosca trapezoidal consiste en un tornillo sin-fin alojado en el interior de un perfil. Este tornillo en un extremo se sujeta a la parte móvil permitiendo únicamente el giro, para ello dispone de un rodamiento en el extremo. En la figura 3.12 se indica con “1”. El otro extremo del tornillo sin-fin está engranado a un motor eléctrico que le dota de giro en torno a su eje. En la figura 3.13 se indica con “2”.

Este giro proporcionado por el motor eléctrico hace que el perfil móvil se desplace longitudinalmente guiado por el perfil de mayor dimensión que envuelve al perfil móvil.

Este sistema es muy sencillo y permite tener una gran precisión. El tornillo sin-fin nunca excede las dimensiones del perfil móvil, por lo que no está sometido a elevadas tensiones debido a flexión. [15][17]

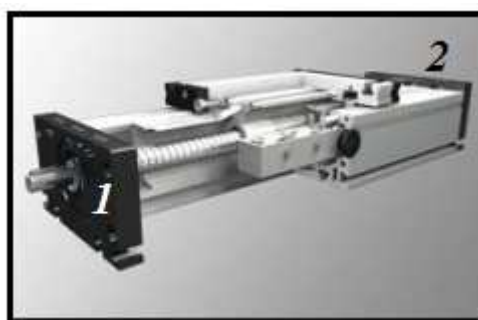


Figura 3. 13: Gato mecánico (husillo de rosca trapezoidal)

Las ventajas e inconvenientes de las transmisiones mediante gato mecánico se muestran en la tabla 3.12.

VENTAJAS	INCONVENIENTES
Elevada capacidad de carga de los husillos (500-1500 kg)	Elevado coste de adquisición
Control del motor CC con encoder incremental, lo que supone una gran precisión	Problemas de esfuerzos laterales y desalineamientos del sistema de guías.
Son compactos	Posible deflexión del tornillo.
Diseño modular: Fácil instalación	No permiten grandes tamaños
Soportes y apoyos simples	Requiere mayores potencias
Fácil hermeticidad	Requiere gran precisión en el montaje

Tabla 3. 12: Evaluación del uso de gato mecánico.

3.5.2 Conclusión

Tras evaluar las diferentes opciones presentadas anteriormente, se ha optado por utilizar un sistema de gato mecánico que mueva un número aún por determinar de travesaños (pertenecientes a la estructura móvil). Sobre estos travesaños se montará el resto de la estructura móvil. El movimiento será proporcionado por un motor aún por determinar. No es objeto del presente documento el diseño específico del motor a utilizar.

SISTEMA DE APERTURA SELECCIONADO → GATO MECÁNICO (HUSILLO HORIZONTAL DE ROSCA TRAPEZOIDAL)

3.6 Estudio sobre selección del sistema de posicionado.

El sistema de apertura de la caja-vivienda no requiere una precisión exhaustiva, a pesar de esto, se requiere un desplazamiento coordinado que cumpla con tolerancias ajustadas. Para ello a este sistema de apertura se le dotará de un sistema de posicionado que permita delimitar los desplazamientos de la estructura móvil, así como, evitar esfuerzos innecesarios en la estructura debidos al desplazamiento lateral.

En el mercado existe una gran cantidad de sistema de posicionado que permiten controlar desplazamiento y posición. A continuación se realiza un estudio de las alternativas existentes para el presente proyecto.

3.6.1 Evaluación de alternativas

a) Codificadores de posición (encoders)

Este sistema de codificación es un sistema de posicionado de forma relativa que utiliza la odometría a través de sensores que permiten determinar la posición de un eje en su movimiento de rotación.

Consiste básicamente en un transductor que convierte una magnitud obtenida de un mecanismo a una señal digital, tanto posición lineal como angular(a través de un potencial). Al tratarse de un emisor y receptor de infrarrojos, el haz de luz es periódicamente interrumpido por un disco codificado con un patrón de ranuras.

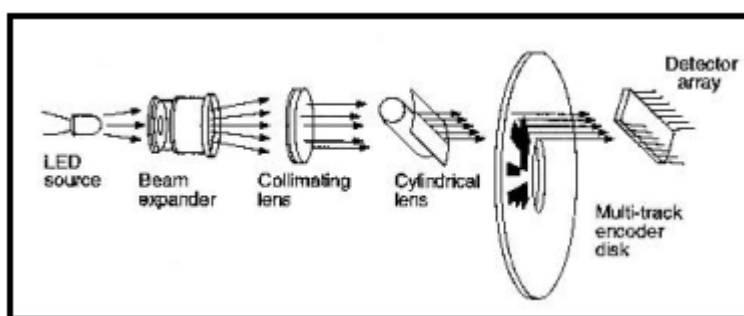


Figura 3. 14: Codificación de posición (encoders)

Los encoders más utilizados son incrementales, ya que conocido el patrón con el que está codificado el disco y la velocidad de las interrupciones, se puede conocer la velocidad a la que está girando el motor y la medida real de la posición del eje.

b) Sensores de contacto (*Bumpers*)

Los sensores de contacto consisten en un interruptor mecánico que al producirse cierta presión sobre él, cierra el contacto y al dejar de ejercer presión, vuelve a abrirse. Se emplean para detectar finales de carrera.

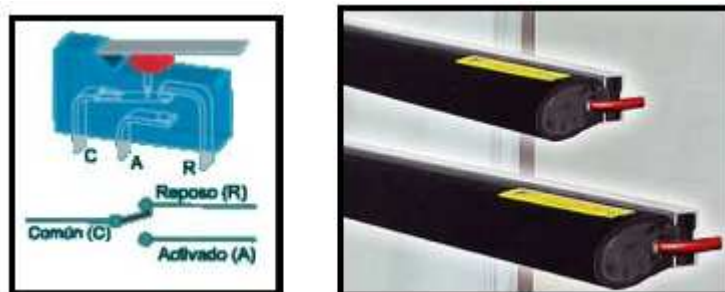


Figura 3. 15: Sensores de contacto (*Bumpers*)

c) Sensores de ultrasonidos

Los sensores de ultrasonido es un sistema de posicionamiento dotado de un emisor de ultrasonidos que genera un pulso que al contacto con un obstáculo, rebota y es detectado por una cápsula receptora de ultrasonidos, contabiliza el tiempo de vuelo y obtiene así la distancia a la que se encuentra el objeto. Utiliza el método de triangulación para emitir y recibir señales.



Figura 3. 16: Sensores de ultrasonidos

d) Sensores de infrarrojos

Los sensores de infrarrojos son semejantes a los sensores de ultrasonidos. La única diferencia es que emiten luz infrarroja mediante un led y tras rebotar con un objeto es captada por un sensor lineal.



Figura 3. 17: Sensores de infrarrojos

3.6.2 Conclusión

Los sensores por ultrasonidos debido a la suciedad a la que estaría expuesta la superficie de recepción se verían afectados. La suciedad provocaría una capa que modificaría la textura del material provocando desviaciones o incluso absorción del sonido.

Los sensores por infrarrojos también se verían afectados por la suciedad debido a que se podría obstruir la lente del emisor-receptor. Además de que los sensores por infrarrojos se encuentran afectados por las condiciones del medio, así como del color de la superficie sobre la que incide el haz de luz.

Debido a la ubicación en la que se deben colocar los sensores de posición, los sensores más adecuados para esta aplicación son los de contacto (*Bumpers*). Además estos sensores son más económicos que las demás alternativas.

3.7 Estudio de selección de baterías

El sistema que permita aumentar la superficie habitable ha de ser impulsado por un motor eléctrico (monofásico de 24 V). Para alimentar dicho motor se emplearán baterías.

El objeto de esta caja-vivienda es que sea completamente autónoma, para ello se montarán baterías. Se trata de un dispositivo electroquímico que permite almacenar energía de forma química. Cuando una batería cargada conecta con un circuito eléctrico la energía acumulada se transforma en energía eléctrica, revertiendo el proceso químico de carga.

La durabilidad de una batería así como su carga son características determinantes, ya que se debe tener en cuenta que todas las baterías con el tiempo terminan degradando su rendimiento hasta el punto de tener que ser sustituidas.

3.7.1 Evaluación de alternativas

a) Batería de plomo y ácido

Las baterías de plomo y ácido son las baterías normalmente montadas en los vehículos automóviles. Ideales para los arranques ya que admiten gran cantidad de corriente. Están formadas por un depósito común de ácido sulfúrico y su interior posee una serie de placas de plomo.

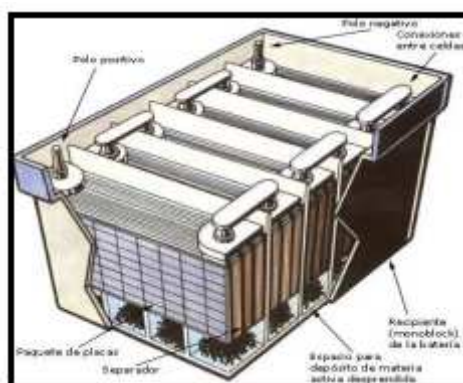


Figura 3. 18: Batería de Plomo-ácido

Las ventajas e inconvenientes de las baterías de plomo y ácido se muestran en la tabla 3.13.

VENTAJAS	INCONVENIENTES
Bajo coste de adquisición	Necesitan 7-9 horas de recarga
Pueden utilizarse al 80% de su capacidad	Requieren mantenimiento. Deben ser llenadas de agua de forma manual
	Elevado peso

Tabla 3. 13: Evaluación del uso de baterías de plomo y ácido.

b) Baterías de Níquel-Cadmio (NiCd)

Las baterías de Níquel-Cadmio recargables son de uso doméstico e industrial. Tienen la peculiaridad de que mantienen la tensión prácticamente constante durante el 90% del ciclo de descarga, lo que hace que no haya un indicador de aviso previo de descarga total. Posee una tensión de trabajo nominal de 1,2 V.

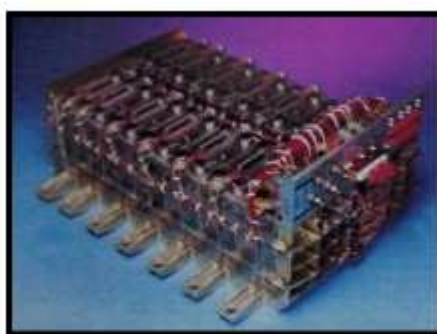


Figura 3. 19: Batería de Níquel-Cadmio

Las ventajas e inconvenientes de las baterías de plomo y ácido se muestran en la tabla 3.14.

VENTAJAS	INCONVENIENTES
Bajo tiempo de recarga	Alto coste de adquisición
Requieren poca carga de agua	Elevado nivel de autodescarga
Bajo peso	Efecto memoria
Elevados ciclos de vida (1000-1500)	Muy contaminante (Cadmio)

Tabla 3. 14: Evaluación del uso de baterías de Níquel-Cadmio (NiCd).

c) Baterías de semitracción

Las baterías de semitracción están especialmente diseñadas para su uso en vehículos eléctricos como carritos de golf, sillas de ruedas, maquinarias de limpieza o cualquier otro uso que requiera un ciclaje profundo.



Figura 3. 20: Batería de Semitracción

Las ventajas e inconvenientes de las baterías de semitracción se muestran en la tabla 3.15.

VENTAJAS	INCONVENIENTES
Gran número de ciclo de carga-descarga	Medio-Alto coste de adquisición
Buen resultado ante funcionamiento intermitente	La batería se degrada tanto por una carga insuficiente como por sobrecarga
No necesita mantenimiento	
No tienen efecto memoria	

Tabla 3. 15: Evaluación del uso de baterías de semitracción.

d) Baterías de gel

Las baterías de gel utilizan un líquido gelatinoso no contaminante en vez de ácido. Dicho gel tiene la propiedad de no dañar el rendimiento de la batería incluso si se produce un vuelco y queda situada al revés, ya que el líquido no llega a salirse de los depósitos.



Figura 3. 21: Batería de Gel

Las ventajas e inconvenientes de las baterías de gel se muestran en la tabla 3.16.

VENTAJAS	INCONVENIENTES
No necesitan mantenimiento. No necesitan ser llenadas de agua	Alto coste de adquisición
No sufren ante condiciones extremas de temperatura	Necesitan entre 8-12 horas de recarga
No producen emisiones de gases salvo en sobrecarga	Elevado peso
Pueden ser utilizadas al 80%	

Tabla 3. 16: Evaluación del uso de baterías de semitracción.

3.7.2 Conclusión

Una vez evaluadas las diferentes alternativas se considera que la utilización de baterías de semitracción es la solución más adecuada. Esto permite utilizar baterías para el sistema eléctrico del vehículo (plomo y ácido) y de la vivienda (semitracción). También se ha considerado la posibilidad de cargar estas baterías a través de la interconexión entre las baterías de la caja vivienda y la batería del motor de combustión del vehículo.

Las baterías de semitracción no solo deben dar soporte a los motores eléctricos del sistema de apertura, sino que deberán tener la capacidad de suministrar energía suficiente para el alumbrado interior del vehículo, a pesar de que se disponga de una toma de corriente y un transformador que se podrá conectar a la red eléctrica.

No es objeto del presente proyecto el diseño específico del sistema eléctrico. Para el diseño del sistema eléctrico ha de tenerse en cuenta los aparatos electrónicos que serán alimentados mediante una batería auxiliar con relé de carga junto con una caja con automáticos de interruptor y fusibles de protección.

BATERÍAS SELECCIONADAS → SEMITRACCIÓN

3.8 UNIÓN DE COMPONENTES

Las técnicas de unión están condicionadas por una serie de necesidades, entre las que cabe citar las siguientes:

- Naturaleza de los materiales
- Necesidades estructurales, ya que los diversos métodos de unión se comportan de modo distinto al mismo tipo de solicitaciones.
- Accesibilidad a las distintas zonas, que puede condicionar el método de unión a emplear.
- Frecuencia de sustitución de los distintos elementos.
- Grado de libertad que precisan algunas piezas.

La mayoría de los componentes que dan lugar a esta caja-vivienda son de aluminio, existiendo también materiales compuestos. El ensamblaje de dichos componentes ofrece varias alternativas que serán estudiadas a continuación.

El estudio de las alternativas de unión entre componentes trata de encontrar la solución más adecuada para cada uno de los casos, respetando su integridad estructural.

3.8.1 Estudio de alternativas

a) Uniones soldadas

La soldadura, en general, es la técnica de ensamblaje más utilizada en la fabricación de carrocerías.

El objetivo principal de las uniones soldadas es la obtención de ensamblajes entre elementos metálicos cuya zona de unión sea prácticamente inexistente. Es decir, transformar dos elementos a unir en uno solo, con propiedades iguales a un elemento individual que no haya sufrido el proceso de unión. Este método pretende ser posible mediante la fusión de las dos partes (pasando parte de los mismos de sólido a líquido para volver a solidificar posteriormente), y su consecutiva unión mezclándose los dos elementos formando uno solo.[22]

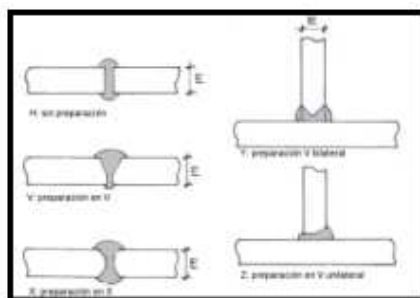


Figura 3. 22: Uniones mediante soldadura

Las soldaduras se pueden hacer aportando material, de esta forma se evita la reducción del espesor de las partes a unir.

b) Uniones mediante tornillería

Se emplea para la fijación de piezas que no presentan un compromiso estructural importante y para aquellas que, con el fin de facilitar una reparación posterior, hayan de ser desmontadas y montadas con relativa frecuencia.[22]

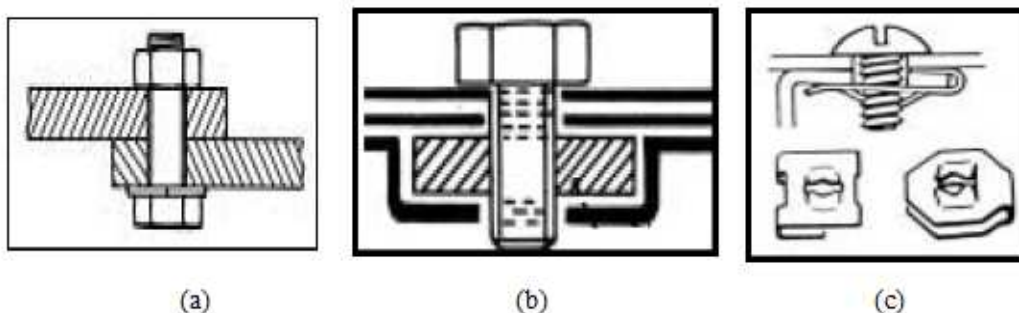


Figura 3. 23: Unión mediante tornillería: (a)Tornillo-tuerca; (b) Tornillo-tuerca prisionera; (c) Tornillo-grapa.

El montaje y desmontaje de un elemento atornillado es sencillo, no requiere ninguna herramienta o utillaje especial.

Existen diversos sistemas de atornillado, los siguientes son los más representativos:

- Tornillo-tuerca
- Tornillo-tuerca prisionera
- Tornillo-grapa
- Tornillos roscachapa o autorroscantes

c) Uniones mediante remachado

Consiste en unir varios elementos, previamente taladrados, mediante vástagos metálicos, generalmente cilíndricos, cuyos extremos terminan en dos cabezas, una de las cuales ya está formada y la otra se forma en la operación de remachado.[22]

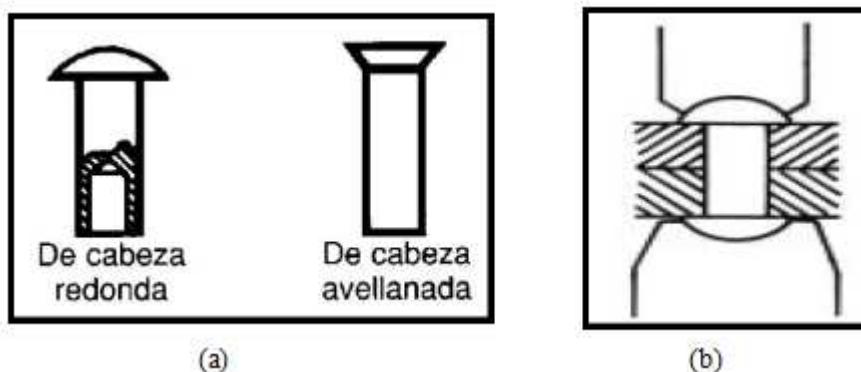


Figura 3. 24: Unión mediante remachado: (a) Remache ordinario; (b) Remache ciego

Los remaches se utilizan con cierta frecuencia en la fabricación de grandes carrocerías para autobuses y autocares.

Fundamentalmente, existen dos tipos de remaches:

- Remaches ordinarios
- Remaches especiales o ciegos

Método

d) Uniones mediante adhesivos

Las uniones mediante adhesivos permite unir materiales con distintas características mecánicas entre sí sin la necesidad de taladrado de ninguno de los componentes.

El adhesivo ha utilizar será el *Sikaflex-221*, es un adhesivo de poliuretano de alta calidad que no escurre y cura por la exposición a la humedad de la atmósfera para formar un elastómero durable. De este modo se evita la necesidad de utilizar hornos de curado para dicho fin.

Este adhesivo está aprobado por la *Norma ASTM C920 y Especificaciones Federales TT-S-00230C*. Este adhesivo está fabricado de acuerdo a las *Normas ISO 9001/14001* del sistema de aseguramiento de calidad y con el programa “*Responsible Care*”.

Las ventajas e inconvenientes de las uniones mediante adhesivos se muestran en la tabla 3.17.

VENTAJAS	INCONVENIENTES
Formulación un componente	Menor resistencia que las otras opciones
Pega bien sobre una amplia gama de materiales	Producto para profesionales experimentados
Puede trabajar como sellante elástico	Requiere compatibilidad de los materiales
Resistente al envejecimiento y a la intemperie	No resistente a ácidos orgánicos ni al alcohol
No corrosivo	
Alta resistencia	
NSF aprobado para contacto incidental de alimentos	
Puede ser pintado y lijado	

Tabla 3. 17: Evaluación del uso de uniones mediante adhesivos.

3.8.2 Conclusiones

El diseño debe proporcionar la seguridad de que los elementos que forman la caja-vivienda así como su ensamblaje se comporte como un sólido rígido.

Dependiendo del material a unir, solicitaciones de carga y del tipo de elemento (estructural o no) se realizará la unión de dichos componentes de la forma siguiente:

- Cada una de las vigas de aluminio de la estructura móvil y fija se unirán mediante soldadura, procediendo a reforzar dichas uniones con placas unidas mediante remaches(en caso de necesitar dicho refuerzo).
- La unión de las bases de ambos pisos con la estructura se realizará mediante adhesivo y tornillería(remaches, tornillos, etc..) debidamente situados para evitar colisiones de la cabeza o tuerca.
- La unión de los paneles exteriores con la estructura se realizará mediante adhesivo reforzando estas uniones mediante remachado.
- La unión del mobiliario con la estructura se realizará mediante tornillería. Este sistema de unión se tratará en el *capítulo 10 “Conclusiones y trabajos futuros”*.

4.- DISEÑO CAJA-VIVIENDA

4 DISEÑO CAJA-VIVIENDA

El diseño de este vehículo-vivienda se ha realizado utilizando una herramienta muy potente como es el software “*Catia V5*”. Este software permite diseñar cualquier tipo de pieza y simular mediante elementos finitos los esfuerzos a los que estará sometida.

En el presente capítulo se hará una breve referencia a la herramienta informática *Catia V5* utilizada para el diseño y análisis de la caja-vivienda. Debido al excesivo coste de la licencia de este software se ha utilizado una estación *Catia* prestada por *Airbus Operation S.L.* para tal efecto. De este modo se ha trabajado con las últimas actualizaciones y soporte necesario.

A continuación se presenta detalladamente los elementos que constituyen la caja-vivienda, así como el orden de ensamblaje. El diseño presentado posee las dimensiones de todos y cada uno de los elementos que se van a instalar. Se ha optado por la presentación del diseño previo a su dimensionado para permitir en el capítulo posterior una visión más intuitiva de las estimaciones realizadas para su análisis de viabilidad.

4.1 Introducción CATIA V5

CATIA (Computer Aided Three Dimensional Interactive Application) es un programa de CAD/CAM/CAE comercial realizado por Dassault Systemes, Francia. El programa está desarrollado para proporcionar apoyo desde la concepción del diseño (CAD) hasta la producción (CAM) y el análisis (CAE) de productos. Actualmente se dispone de la versión V5, que en éstos últimos años ha sustituido a la versión CATIA V4 basada en AIX, y también disponible para Solaris, IRIX y HP-UX, debido a la posibilidad de trabajar sobre Microsoft Windows.[36]

Provee una arquitectura abierta para el desarrollo de aplicaciones o para personalizar el programa. Los APIs se pueden programar en Visual Basic y C++. Estos APIs se llaman CAA2 (o CAA V5).

Programa inicialmente desarrollado para servir en la industria aeronáutica, se ha hecho un gran hincapié en el manejo de superficies complejas. CATIA también es ampliamente usado en la industria del automóvil para el diseño y desarrollo de componentes de carrocería. Concretamente empresas como el Grupo VW (Volkswagen, Audi, SEAT y Škoda), BMW, Renault, Peugeot, Daimler AG, Chrysler, Smart y Porsche hacen un amplio uso del programa. La industria de la construcción también ha incorporado el uso del software para desarrollar edificios de gran complejidad formal, el museo de la fundación Guggenheim en Bilbao, España, es un hito arquitectónico que ejemplifica el uso de esta tecnología.[37]

Los paquetes de actualización y versiones se denominan según lo siguiente:

Vx - Indica la versión del programa. Actualmente versión 5, que cambió radicalmente la interfaz de usuario respecto a V4.

Rxx - Indica el release del programa. Actualmente Release 19. Suele ser actualizado en periodos cortos de tiempo (no más de un año) y suelen aportar cambios en funcionamiento de algunas herramientas, otras nuevas y algunas que se intercambian entre los diferentes módulos del programa.

SPx - Indica el service pack del programa. Actualmente SP 2. Como en cualquier software, los service pack, se encargan de corregir errores y modificar comportamientos incorrectos, vistos en el testeo de la versión.

A continuación se va a dar una introducción a los principales módulos de CATIA V5:

- **Diseño mecánico:**

El módulo de modelado sólido proporciona todas las herramientas para la creación de piezas, el análisis de ángulos de salida y desmoldeos, análisis de curvaturas, análisis de estructuras, propiedades físicas, etc. Este módulo está directamente relacionado con el de ensamblajes. Ya que casi siempre la pieza ha de ir incluida en un producto final. CATIA incorpora el método de diseño Top-Down, arriba-abajo, en el que se puede diseñar piezas en el entorno de conjunto filtrando la geometría que consideremos conveniente del ensamblaje. Empresas del automóvil han conseguido ensamblar hasta 2500 piezas.[36]

A partir de un ensamblaje se generan listas de materiales automáticamente, se detectan las colisiones y las holguras.

- **Generación de planos:** La generación de planos es automática, fácil e intuitiva. Si el diseño se ha parametrizado correctamente, la aplicación recuperará las cotas del modelo 3D.
Las vistas, se hacen de forma automática, podemos incluir holguras, tolerancias, cambiar el formato de las cotas, según muchos de los estándares.
Funciona muy bien generando planos de montaje, ya que en un mismo plano podemos tener distintas configuraciones de producto, que se corresponderán con las distintas fases de montaje de este.
- **Módulo de chapa:** Existen dos módulos de este tipo, un módulo de diseño con muchas operaciones específicas en chapa y comandos directos, que permite la ingeniería simultánea entre las representaciones plegadas y desplegadas de la pieza y un módulo de producción con el que se puede estudiar la viabilidad de cualquier pieza para ser construida en chapa.
- **Módulo de estructuras metálicas:** Con el módulo de diseño de estructuras metálicas se puede construir directamente estructuras lineales, curvas y placas. Los perfiles se escogen de una librería en la que están los principales estándares del mercado (IPN, IPE, UPN, UAP, CAE,...).
- **Módulos de moldes:** En este módulo se encuentran las librerías de los principales fabricantes del mercado (DME, EOC, HASCO, RABOURDIN,...). La información en este caso se ordena

automáticamente, y en la salida a planos tendremos los componentes perfectamente gestionados (casquillos, guías, expulsores, boquillas, etc.).

- **Diseño de formas y estilo:**

Esta es la parte mas fuerte de CATIA V5, para empezar CATIA dispone de un módulo específico de Digitalización, que aunque por si mismo se queda muy corto en opciones, es sencillo e intuitivo. Al estar perfectamente integrado con los demás módulos, tenemos toda la potencia de las superficies paramétricas.

Con este tipo de herramientas de análisis de superficies, inflexión de curvas, curvaturas, distancias, etc. CATIA controla todos los parámetros de unión en superficies, como la tensión en las superficies de unión, la continuidad de estas, factores de suavizado, etc.

En este entorno el usuario puede crear formas avanzadas basadas en la combinación de la estructura alámbrica y las múltiples características de las superficies. Proporciona un completo conjunto de herramientas para crear y modificar las superficies mecánicas utilizadas en el diseño de formas complejas y piezas híbridas.

En nuevas versiones y en configuraciones de programa avanzadas se incluye un módulo llamado superficies de clase A, con las que se crea geometrías con unas especificaciones muy exigentes, con las que satisfacer a la industria automovilística y aeronáutica.

Vinculado a este módulo tenemos otro con el que podemos crear geometría a partir de modelos 2D. este módulo, es especialmente útil cuando detrás de un diseño hay un trabajo grande de bocetado por parte de los estilistas.

- **Análisis:**

Realiza análisis de esfuerzos y de vibraciones en conjunto con el fin de generar diseños de alta calidad en poco tiempo. No es un programa estricto de cálculo, a través de elementos finitos simplifica enormemente el análisis. El programa genera reportes en modo automático, con representaciones gráficas de las tensiones y deformaciones.

Las nuevas actualizaciones del programa incluyen un módulo detallado que permite calcular algunos parámetros y realizar cálculo a superficies.

- **Equipamiento e ingeniería de sistemas:**

Conforma un conjunto de aplicaciones orientadas a los ingenieros, que sirven de ayuda para sacar toda la información posible a un producto.

Por ejemplo, utilizando el módulo de ruteado eléctrico, el ingeniero puede obtener información de la calidad de cable que va a necesitar de cada tipo, si

habrá interferencias en las distintas zonas, si habrá o no problemas a la hora de cambiar un determinado componente.

Se puede optimizar también el ruteado de sistemas de tuberías, diseñar y revisar sistemas eléctricos, etc.

- **Síntesis de productos:**

- **Simulador de montaje de conjuntos:** Este módulo dispone de las herramientas necesarias para hacer una validación del montaje y ensamblaje de piezas. Genera información útil sobre el espacio reservado a las operaciones de montaje, con el fin de que se tenga en cuenta en futuras modificaciones del diseño.
- **Simulador de mecanismos:** Define mecanismos utilizando gran variedad de tipos de acoplamientos o bien generándolos automáticamente a partir de restricciones de conjuntos mecánicos.
- **Render:** Este módulo permite situar piezas o conjuntos en un entorno, en el que manipulando puntos de luz y las propiedades de los materiales se crean imágenes fotorrealísticas de las piezas diseñadas.
- **Gestión del conocimiento:** También llamado KBE. Las piezas generadas por ingeniería basadas en el conocimiento, incorporan al diseño el comportamiento, las fórmulas, las reglas y todo lo que el ingeniero considere necesario, en la realización de una pieza de ese tipo. Los diseñadores de una empresa no tienen los conocimientos técnicos del ingeniero. Si un producto se diseña bien por este método, el programa le guiará avisándole cuando no se cumplan las especificaciones que se han impuesto.

Estos son un ejemplo de la gran variedad de módulos y aplicaciones que ofrece el software *CATIA V5*.

4.2 VEHÍCULO BASE

Se ha modelizado la estructura básica del vehículo comercial NISSAN L-35.09. Esta modelización se ha centrado en el chasis al que se unirá la caja vivienda.

Debido a que es el primer análisis de viabilidad de la caja-vivienda sobre este vehículo no se han modelizado todas y cada una de las partes que constituyen el vehículo como suspensión, motor, etc.

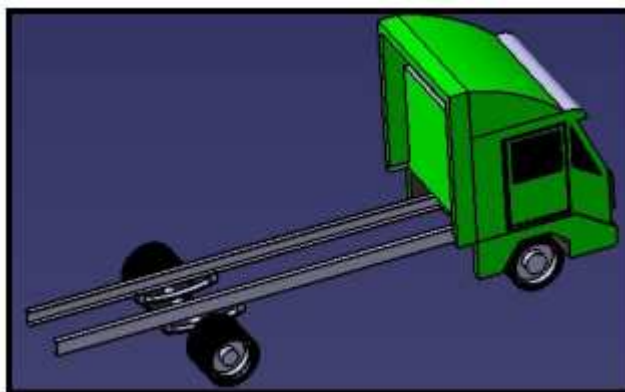


Figura 4. 1: Modelización vehículo comercial NISSAN L-35.09

Las dimensiones del vehículo base son las siguientes:

DIMENSIONES	ECO
Longitud Total	6760 mm
Distancia entre ejes	3600 mm
Vía Anterior	1701 mm
Vía Posterior	1573 mm
Voladizo posterior	1930 mm

Tabla 4. 1: Dimensiones exteriores del vehículo

4.3 VEHÍCULO VIVIENDA

El vehículo comercial se transforma en una vivienda mediante un sistema mecánico que desplaza los laterales de la caja proporcionando un habitáculo amplio y funcional.

El presente capítulo muestra de una forma detallada las características de cada una de las partes que conforman la caja-vivienda, así como las solicitaciones mínimas de diseño que se han de exigir a esta estructura.

La caja-vivienda esta constituida básicamente por dos tipos de estructuras

- a) **Estructura Fija:** Esta estructura está constituida por una serie de perfiles que permiten formar una serie de pórticos tanto en posición de vehículo como en posición de vivienda. Las características que ha de cumplir son:
 - Unión entre el conjunto caja-vivienda y el chasis del vehículo
 - Sustento de la estructura móvil
 - Sistema de guiado para la estructura móvil
 - Base de la planta superior
- b) **Estructura Móvil:** Estructura constituida por perfiles de caja que ensamblada con la estructura fija constituyen los pórticos en la posición de vivienda. Las características que ha de cumplir son:

- Estructura desplazable horizontalmente que proporciona mayor superficie habitable.
- Estructura que soporta el peso del mobiliario.
- Sistema de apertura de la planta superior.

4.3.1 Características generales

El diseño permite al vehículo comportarse como tal en cualquier tipo de vía, sin embargo en zonas habilitadas para el camping, permite transformarse en una vivienda de dos plantas cubiertas.

El sistema de apertura permite disponer de un habitáculo amplio con una capacidad de doce personas. Una vez desplazados los laterales de la caja vivienda, se dispone de una vivienda de dos pisos de altura. El piso inferior está destinado para la ubicación de la cocina, baño, salón y sofá-cama para dos ocupantes. En el piso superior se ubicarán colchones, de tal forma que se utilizará como dormitorio con capacidad de diez personas.

La Tabla 4.2 muestra las dimensiones de la caja-vivienda

	Inferior	Superior	
Longitud (m)	4,5	4,5	
Ancho (m)	3,5	3,5	
Alto (m)	2	1	TOTAL
Superficie (m ²)	15,75	15,75	31,5
Volumen (m ³)	31,5	15,75	47,25

Tabla 4. 2: Dimensiones Caja-Vivienda

Como se puede observar en la tabla 4.2 cada una de las plantas dispone de una superficie de 15,75 m² y un total entre las dos plantas de 31,5 m². A esta superficie se podría añadir la superficie cubierta que proporcionaría un toldo exterior situado en un lateral con unas dimensiones de 2 metros de ancho y 4,5 de largo, proporcionando una superficie adicional de 9 m². Por lo que en la posición de vivienda con el toldo desplegado se obtendría un total de 40,5 m² de superficie cubierta.

4.4 Estructura Fija

Se presenta como la base estructural del conjunto, debido a que es la unión entre el chasis del vehículo y la caja-vivienda.

Las dimensiones de esta estructura son básicamente las mismas que las de la caja que dispone actualmente el vehículo, estas dimensiones son 2 metros de alto, 2,1 de ancho y 4,5 de largo.

La única diferencia existente reside en el ancho (longitud del dintel) el cual se ha reducido 100mm con el fin de no alterar las dimensiones exteriores especificadas en la ficha técnica del vehículo. Estos 100mm reducidos serán ocupados por los pilares de la estructura móvil.

4.4.1 Base

La base de la estructura fija está constituida por siete travesaños dispuestos transversalmente al chasis del vehículo. La separación entre cada uno de estos travesaños es de 750 mm aproximadamente. El perfil ha utilizar será de caja debido a que además de soportar la carga del resto de las estructuras deberá trabajar como guía de la estructura móvil cuyas vigas irán en el interior de estos perfiles.[27]

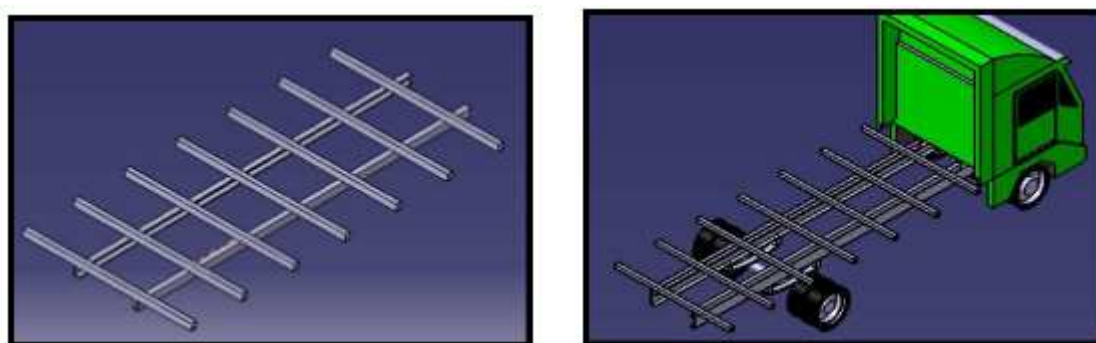


Figura 4. 2: Base estructura fija

Los travesaños tres y cinco de la estructura dispondrán de un motor eléctrico a cada lado. Este motor estará unido a los largueros y se adaptará a la zona de unión entre larguero y travesaño. Este motor está unido a un tornillo sin-fin que será el que proporcione el desplazamiento lineal de la estructura móvil.

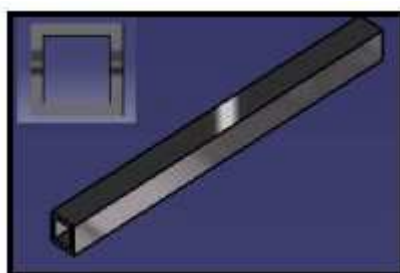


Figura 4. 3: Perfil Caja

Estos travesaños tienen como misión:

- Soportar las solicitaciones de cargas requeridas por la estructura móvil.
- Trabajan como guía de la estructura móvil.
- Unión entre el chasis del vehículo y la caja vivienda.

4.4.2 Estructura Fija

El diseño de la estructura fija se orienta a la reducción de peso sin reducir la resistencia a las acciones que le afectan.

La estructura fija está compuesta básicamente por tres pórticos de dimensiones exteriores semejantes a las de la estructura cerrada, que proporciona mayor estabilidad a la estructura cuando se encuentra en modo vivienda. Los perfiles de las vigas que conforman estos pórticos son diferentes dependiendo de las necesidades que se desea cubrir.

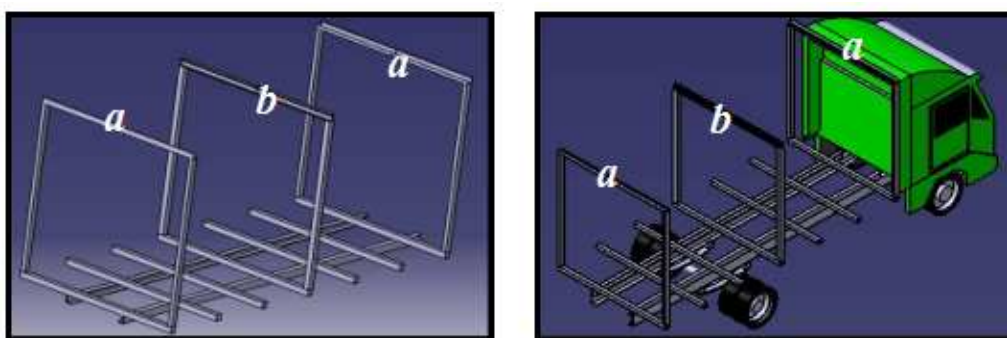


Figura 4. 4: Pórticos estructura fija

En los pórticos extremos (Marcados en al figura 4.4 con la letra “a”) se ha utilizado para los dinteles un perfil en “U” con el alma exterior con mayor longitud que el interior con el objetivo de permitir la unión de los dinteles superiores de la estructura móvil. Otra de las causas que motiva a la elección de estos dinteles en “U” se debe a que deben de trabajar de guía para la estructura móvil.

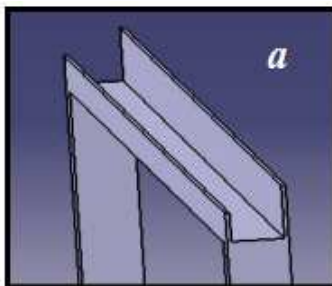


Figura 4. 5: Perfil “U”

El pórtico central (Marcado en al figura 4.4. con la letra “b”) utiliza para el dintel un perfil del tipo “IPN” por los mismos motivos que se utilizan los perfiles en “U”.

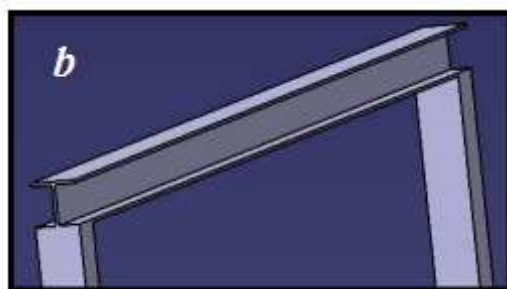


Figura 4. 6: Perfil “IPN”

Estos tres pórticos se unen longitudinalmente mediante un larguero central, el cual se encarga de soportar las cargas del piso superior, además, es la base de los travesaños superiores. La unión entre este larguero y los travesaños deberá considerarse como soldadura a efectos de cálculo resistente.

El perfil de este larguero es del tipo “IPN” debido a que permite una mayor superficie de unión entre larguero y travesaños. La dimensión del alma del larguero será semejante a la altura del perfil de caja que se utilizará para los travesaños superiores de la estructura fija y de igual dimensión que el dintel del pórtico central de la estructura fija.

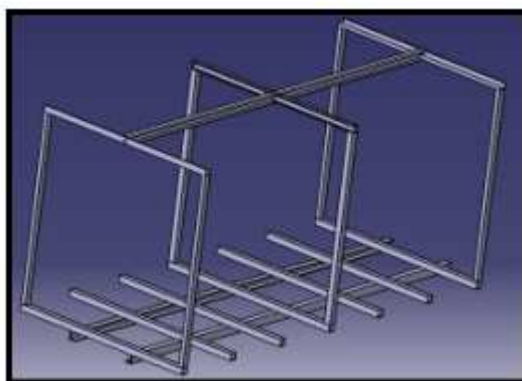


Figura 4. 7: Estructura fija. Detalle viga longitudinal

Se dispone de cuatro travesaños por lateral separados 750 mm aproximadamente. El objeto de estos travesaños es:

- Trabajar como dintel en los pórticos que constituyen la estructura en posición de vivienda al igual que en posición de vehículo.
- Trabajar como guía para los dinteles de la estructura móvil.

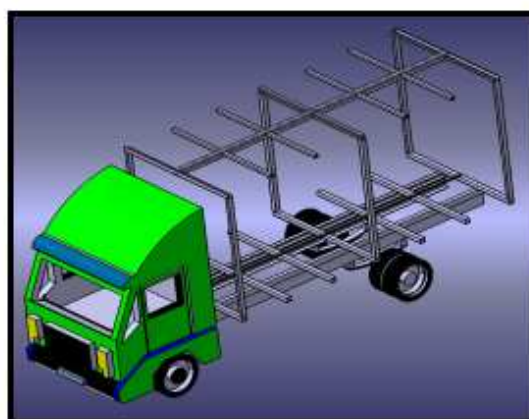
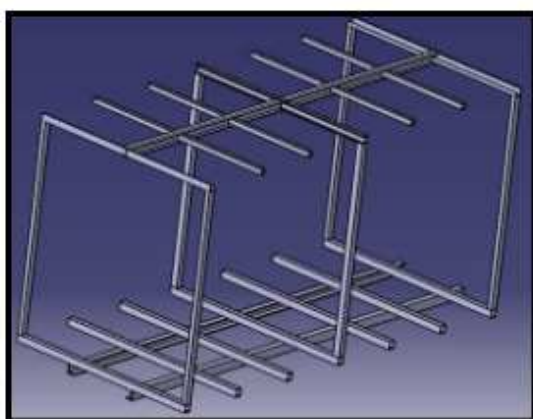


Figura 4. 8: Estructura fija. Detalle travesaños superiores

Los travesaños superiores van unidos al larguero superior por un extremo mientras que en el otro se sitúa la estructura móvil proporcionando a los dinteles superiores de la estructura móvil un movimiento rectilíneo. Este diseño se debe a que cuando la caja-vivienda esté en modo vivienda, la combinación de estructuras (fija y móvil) constituya

un pórtico con un dintel de mayores dimensiones que los de la estructura fija y con la resistencia necesaria.

Cada uno de los travesaños están unidos entre sí mediante placas de material compuesto que transmitirán la carga de los ocupantes a la estructura.

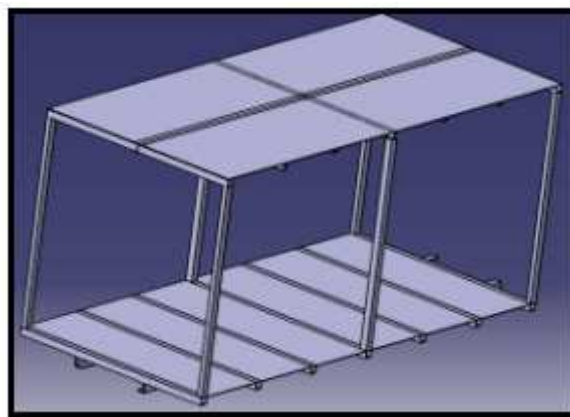


Figura 4. 9: Estructura fija.(completa)

4.5 Estructura Móvil

La estructura móvil está compuesta básicamente por siete semiestructuras compuestas cada una de ellas por un pilar, travesaño superior (dintel de la estructura móvil) y travesaño inferior, dando lugar a una estructura en forma de “C”.

Los perfiles de las vigas que conforman esta estructura son diferentes dependiendo de las necesidades que se desea cubrir.

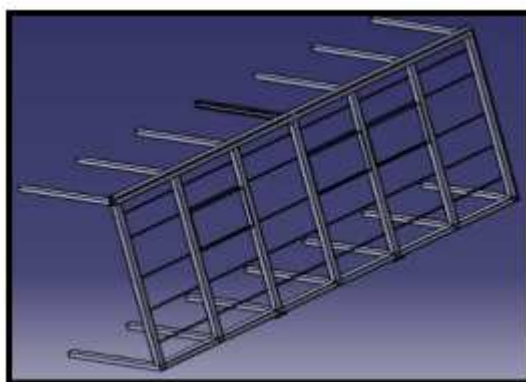


Figura 4. 10: Estructura móvil

El conjunto de la estructura móvil está compuesto por dos estructuras simétricas entre sí, cada una de ellas encaja en un lateral de la estructura fija. La estructura del lateral derecha dispone de una puerta para permitir el acceso al interior de la caja-vivienda. La estructura móvil del lateral izquierdo solo dispone de ventanas.

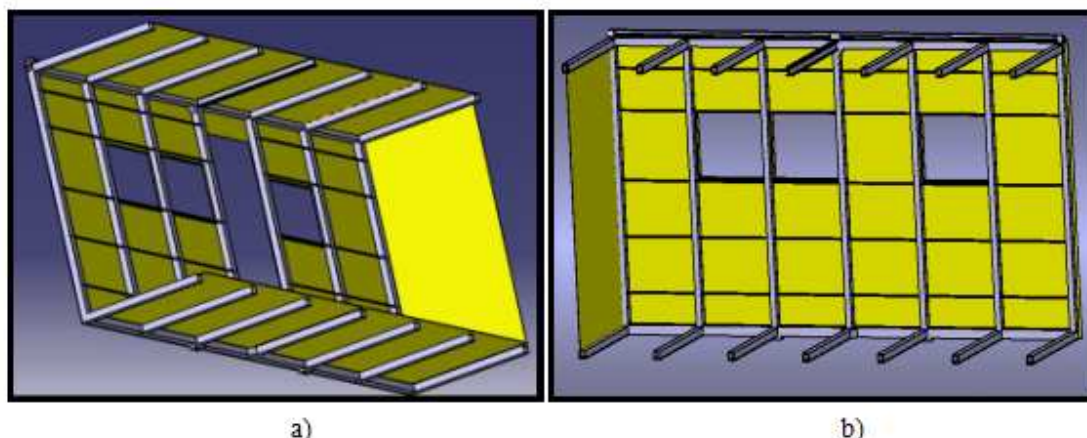


Figura 4. 11: Estructura móvil. (completa) a) Estructura móvil lateral derecha. b) Estructura móvil lateral izquierdo

Los travesaños inferiores son de perfil de caja. Sus dimensiones exteriores son semejantes a la dimensión interior de los travesaños de la base de la estructura fija debido a que van dentro de estos. La holgura entre estos perfiles ha de ser suficiente para que se disponga de una capa de lubricante que permita el deslizamiento entre ambas superficies y a su vez proporcione las características mecánicas de un único sólido rígido.

Los travesaños superiores están unidos entre sí mediante paneles de estructura sándwich. Esto se debe a que los travesaños superiores de la estructura móvil envuelven a los travesaños superiores de la estructura fija.

Los pilares de esta estructura son de perfil de caja cuyas dimensiones se detallarán en el siguiente capítulo. Estos pilares están unidos mediante dos largueros (uno superior y otro inferior) que conforman la estructura móvil principal. Además se dispone de cinco largueros de reducidas dimensiones para proporcionar mayor rigidez a la estructura, así como reducir la variación de posición entre los pilares cuando se está desplazando la estructura. Estos largueros además tienen la función de fijar el mobiliario de la vivienda a la estructura.

Se han reforzado los travesaños inferiores de la estructura móvil con el larguero inferior de dicha estructura con escuadras debido a que dichos puntos estarán sometidos a mayor tensión al desplazarse la estructura móvil lateralmente. La existencia de estas escuadras provoca que los travesaños inferiores de la estructura fija sean de menor dimensión que los superiores.

En el interior de los travesaños inferiores existirá un soporte con un rodamiento, este soporte unirá el otro extremo del tornillo sin-fín que proporcionará el desplazamiento lineal. Este soporte dispone de un rodamiento que le permitirá girar libremente.

En la figura 4.12 apartado a) se ha marcado la situación de las escuadras. En la figura 4.12 apartado b) se muestra un detalle de la escuadra.

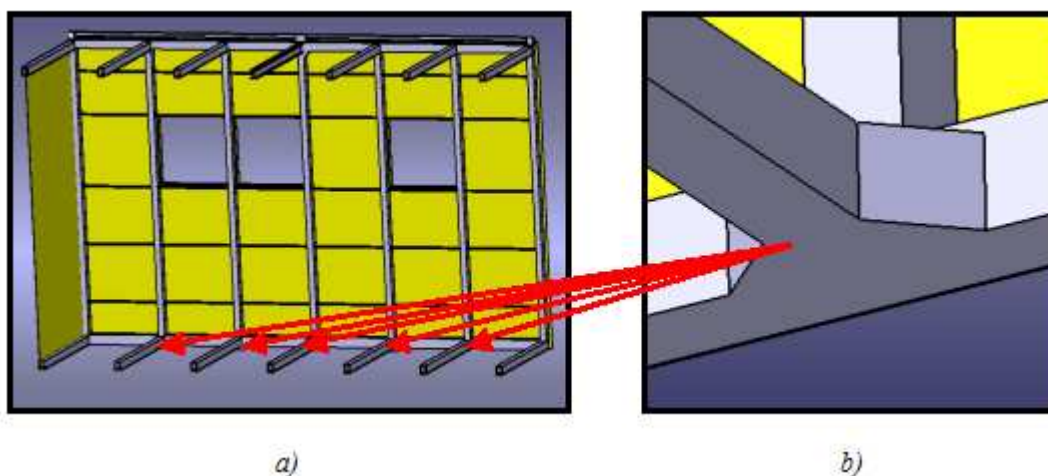


Figura 4.12: Estructura móvil. (refuerzos) a)Localización de los refuerzos. b)Detalle de la escuadra en la estructura

Además de este refuerzo localizado en los travesaños inferiores de la estructura móvil se ha añadido otro refuerzo en la columna central de la estructura móvil debido a la disposición de su travesaño superior central. El cual está constituido por dos perfiles en “C”.

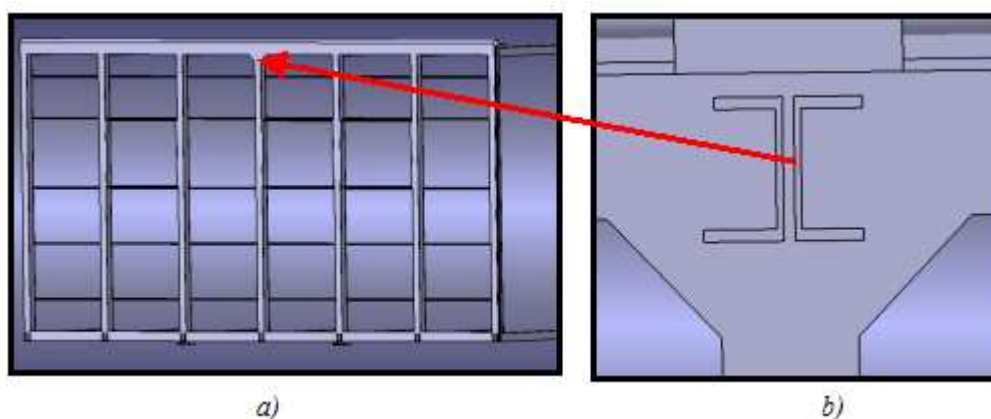


Figura 4.13: Estructura móvil. (Refuerzo central) a)Localización del refuerzo. b)Detalle de la escuadra en la estructura

El travesaño superior central de la estructura móvil que está formado por dos perfiles “C” encaja con el perfil tipo “IPN” de la estructura fija. Se utilizan este tipo de travesaños para permitir la unión de los paneles del techo con las diferentes vigas de la estructura. Esto se debe a que los travesaños contiguos a estos son de perfil de caja, los cuales envuelven a los perfiles de caja de la estructura fija. En la figura 4.14 se puede distinguir los perfiles de cada una de las estructuras.

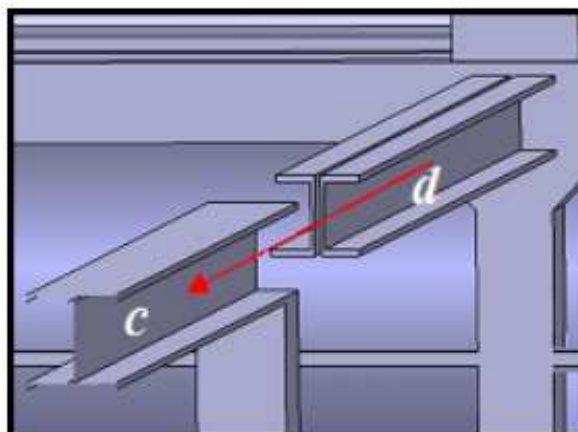


Figura 4. 14: Acoplamiento travesaño superior. “c” indica estructura fija. “d” indica estructura móvil.

La estabilidad de la caja-vivienda ha de mantenerse en todo momento por lo que esta estructura móvil además de ir parte de sus travesaños en el interior de la estructura fija simulando un empotramiento, en sus extremos estará apoyada sobre el suelo. Para dicho fin se han diseñado unos soportes en la parte inferior de la estructura móvil donde se situarán los apoyos.

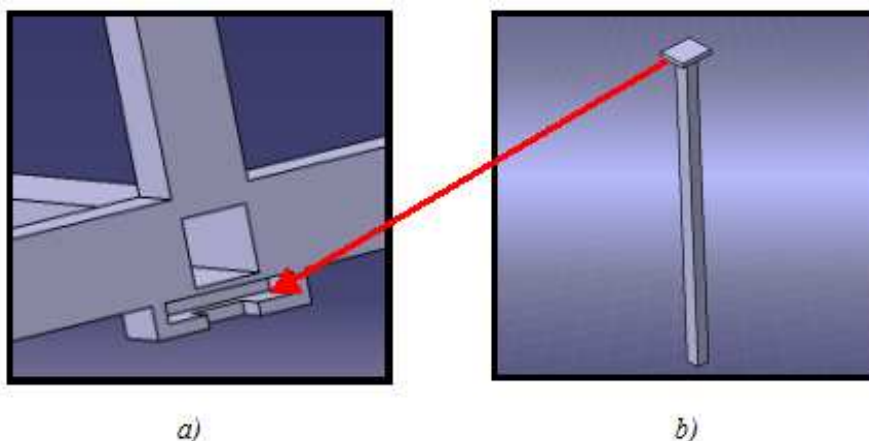


Figura 4. 15: Soportes al firme. a) Detalle soporte estructura móvil. b) Detalle apoyo.

Los apoyos utilizados son regulables en altura, esto permite poder nivelar la estructura independientemente del desnivel del suelo.

4.5.1 Techo

El techo de la planta superior está constituido por una estructura ligera, de forma rectangular con un panel de material flexible e impermeable semejante al utilizado en las tiendas de campaña.

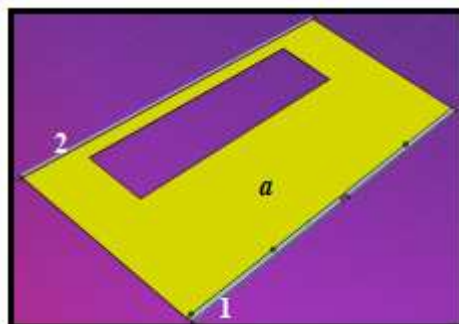


Figura 4.16: Techo

La unión entre el techo y la estructura móvil se realiza mediante un eje cilíndrico. El soporte de la parte inferior del techo dispone de un hueco en el que se aloja dicho eje. Este soporte va unido a la cubierta del techo (*En la figura 4.16 marcado con "1"*)

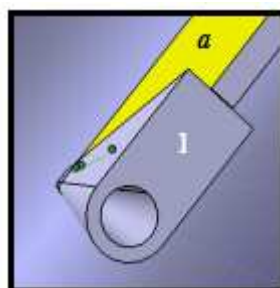


Figura 4.17: Unión parte inferior del techo

La parte superior del techo dispone de un soporte cilíndrico con un chaflán al que va unida la cubierta (*En la figura 4.16 marcado con "a"*). En los extremos de este soporte superior se sitúa un eje que irá unido a una biela.

Esta biela (*Figura 4.18 apartado b*) de acero une dicho extremo del techo a la estructura fija mediante un soporte.

El soporte está constituido por una pieza de acero que dispone de cuatro orificios paralelos dos a dos en los que se sitúan unos ejes. Cada par de orificios con sus respectivos ejes pertenecen a cada uno de los soportes situados en cada lateral del techo. (*Figura 4.18 apartado c*). El giro de las bielas respecto al eje de los soportes es 90° , estando a 0° en posición vehículo y a 90° en posición vivienda. Esto permite que no se estorben las bielas entre si.

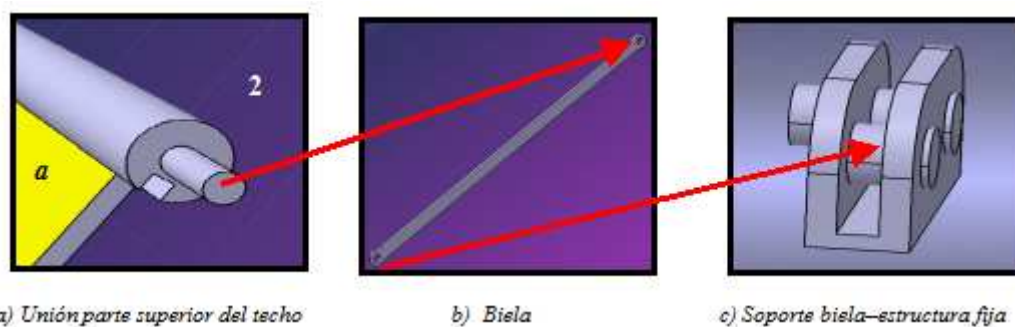


Figura 4.18: Sistema apertura planta superior

Todo este sistema se sitúa en cada uno de los extremos longitudinales del larguero superior de la estructura fija.

El diseño de este sistema de apertura del techo de la planta superior no necesita ningún propulsor adicional. Al ir un extremo del techo unido a la estructura móvil y el otro a la fija, permite abrirse con el desplazamiento lateral de la estructura móvil.

Una vez presentado cada uno de los elementos que constituyen el diseño de la caja-vivienda, a continuación se muestra como funcionaría este sistema en conjunto.

La unión entre ambos laterales del tejado a dos aguas que conforman el techo se realiza mediante un cierre elástico que aísla e impermeabiliza la planta superior.

4.6 Sistema de apertura

Una vez presentado los elementos que constituyen la caja-vivienda, se detalla el modo en el que todos estos elementos trabajan coordinadamente para obtener un sistema sencillo, fiable y cómodo.

Como ya se comentó anteriormente la versatilidad de este diseño permite disponer, a efectos exteriores, de un vehículo comercial en modo vehículo y de una casa en modo vivienda.

4.6.1 Modo Vehículo

La figura 4.19 muestra como quedaría el diseño en modo vehículo, las dimensiones exteriores son semejantes a las que tiene este mismo modelo portando una caja convencional.

Como se puede observar, la única diferencia existente entre las cajas comerciales y este diseño se encuentra en la existencia de ventanas laterales, debido a que muchas cajas comerciales disponen de puerta lateral (sin ventana).

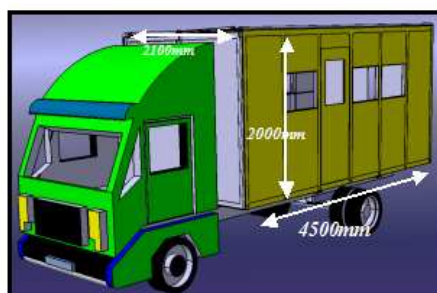


Figura 4. 19: Modelo en modo vehículo

Al estar todo el mobiliario fijado a la estructura móvil y no permitirse la estancia de ninguna persona en el interior de la caja cuando el vehículo esté circulando por cualquier tipo de vía, se puede considerar como un vehículo comercial que transporta

mercancía. Siempre y cuando cumpla con las normativas vigentes de la DGT y del Ministerio de Industria.

4.6.2 Modo Vivienda

Una vez estacionado el vehículo en una zona habilitada. Mediante una botonera se activan los motores del sistema de apertura proporcionando movimiento al tornillo sin-fín, el cual desplaza la estructura móvil linealmente en sentido transversal al eje del vehículo.

La estructura móvil desplaza a su vez el techo. Al estar unido el techo a la estructura fija mediante la biela, esta gira respecto al eje del soporte biela-estructura fija. De este modo se consigue la apertura de un lateral utilizando únicamente el sistema propulsor de la estructura fija.

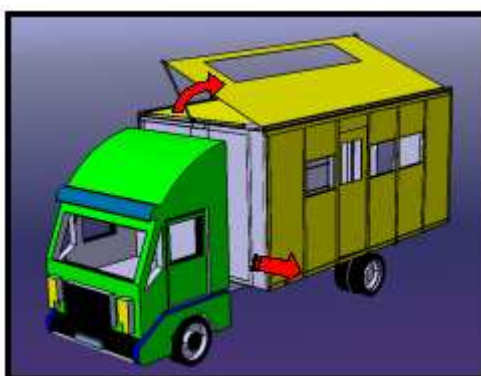


Figura 4. 20: Apertura estructura móvil derecha

El desplazamiento de la estructura móvil no afecta a la estabilidad del vehículo debido a que el reparto de cargas está equilibrado.

Una vez desplazado el lateral derecho 700mm hacia el exterior se fija la estructura sobre el firme mediante apoyos regulables en altura. Mediante la botonera se activan los motores que proporcionan el movimiento a la estructura móvil izquierda.

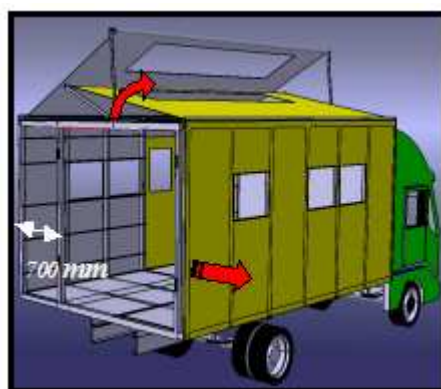


Figura 4. 21: Apertura estructura móvil izquierda

La Figura 4.22 la planta superior dispone de un techo a dos aguas una vez desplazado ambos laterales 700mm.

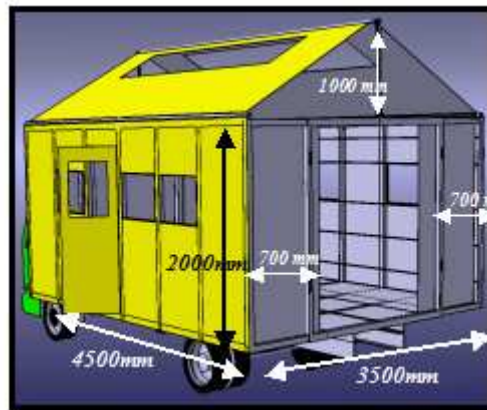


Figura 4. 22: Dimensiones caja-vivienda

Una vez abiertos los laterales y colocado los apoyos graduables en altura se nivela la estructura el conjunto vehículo-vivienda y transmitir las cargas al suelo(ver Figura 4.15). De este modo se evita someter al conjunto estructural a tensiones innecesarias y garantizar la estabilidad.

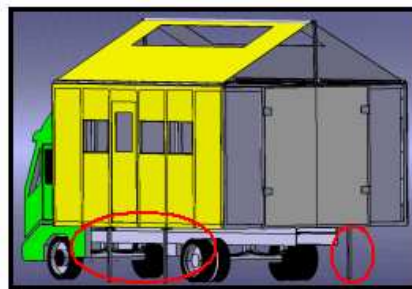


Figura 4. 23: Estructura soportada apoyos

Una vez nivelada la estructura sobre el firme, se procede a cerrar los laterales del techo. Al igual que la cubierta, estos laterales están fabricados de un material semejante al utilizado en las tiendas de campaña.

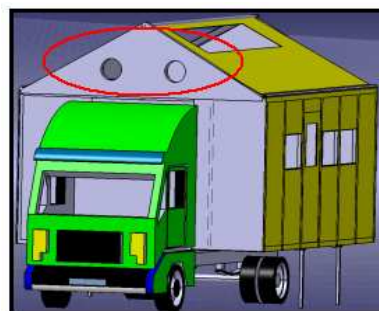


Figura 4. 24: Cerramiento de la planta superior

La capacidad del vehículo asciende a $15,75 \text{ m}^2$ por planta, esto permite tener una capacidad para diez personas en la planta superior, permitiendo disponer aproximadamente de $1,75 \text{ m}^2$ por persona y dos personas en la planta inferior(al disponer de un sofá cama). Debido a la gran superficie cubierta que proporciona este diseño, se permite la instalación de mobiliario normal (Utilizado para vivienda) permitiendo así no

tener que recurrir a módulos especiales, los cuales a menudo suelen tener un elevado coste.

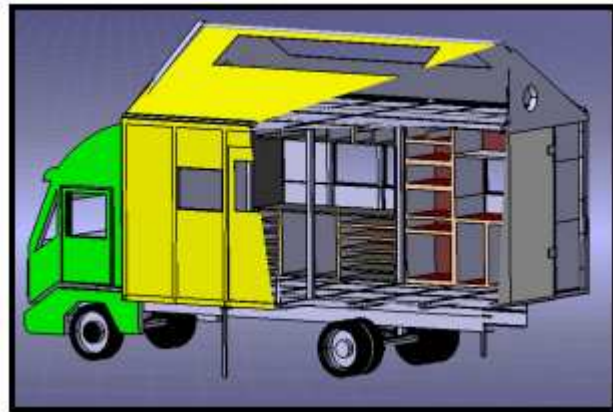


Figura 4. 25: Vista interior y exterior de la caja-vivienda



Figura 4. 26: Recreación modelo real Caja-Vivienda.

5.- ACCIONES

5 ACCIONES

Este proyecto se divide en dos partes básicas, la primera el diseño de la caja-vivienda (realizado en el capítulo anterior) y la segunda el estudio mecánico en el que se analiza la viabilidad de dicho diseño para su fabricación (siguiente capítulo). Como se comentó en capítulos anteriores, el objeto de este proyecto no es el de realizar un estudio exhaustivo de todos y cada uno de los componentes de la estructura, sino dar el primer paso para conocer la viabilidad del diseño realizado.

Durante la realización de los cálculos puede que surjan conflictos ya que se puede diseñar de una forma que en un principio sea válida, y que más tarde, al ensamblarlo junto con el resto de componentes, no sea viable y haya que modificar el diseño. Por lo tanto, existe retroalimentación continua con el fin de obtener la solución más óptima.

5.1 Introducción teórica

Para la realización de este análisis de viabilidad estructural se ha seguido una serie de bases teóricas, centrado en la teoría de sólidos deformables y en los teoremas de Mohr, Von Mises y Castigliano. Estos Teoremas se detallan en el Anexo I.

Una estructura es un conjunto mecánico encargado de soportar y transmitir un determinado número de cargas hasta la cimentación, donde serán absorbidas por el terreno.

La estructura se encuentra constituida por una serie de barras enlazadas entre sí por medio de nudos que simulan soldadura. Estos nudos son rígidos ya que no permiten el giro entre barras en el punto donde confluyen. Si los nudos son rígidos, los ángulos entre barras tras la deformación se conservarán y la flecha será pequeña.

La estructura a estudiar en el presente proyecto se puede simplificar a un pórtico. Un pórtico es un conjunto estructural básico, que se encuentra constituido por dos elementos sustentadores verticales (pilares o columnas) sobre los que se apoya otro horizontal (viga o dintel) sobre el que actúan las cargas verticales provenientes del peso propio, los ocupantes, etc.

La envolvente de la caja-vivienda está compuesta en su gran mayoría por paneles horizontales de estructura tipo sándwich y paneles verticales de aluminio de pequeño espesor, al que va adherido un aislante térmico y acústico. Estos paneles se unen a los pórticos por medio adhesivo y tornillería.

Las vigas y los pilares son los principales elementos estructurales. Mientras la funcionalidad del primero es ofrecer resistencia a la flexión, la del segundo es ofrecerla a compresión.

Cuando una viga cubre tres o más vanos, es decir, tiene más de tres apoyos, se conoce como viga continua, y aunque presenta menor flexión, y por tanto una menor flecha, es muy sensible a los asientos diferenciales.

En la simplificación para el cálculo de un pórtico se utilizan los siguientes gráficos dependiendo de los grados de libertad de los nudos. [13]




Tipos de apoyos		
	Apoyo articulado móvil	Permite desplazamiento y giro
	Apoyo articulado fijo	Permite giro
	Empotramiento	No permite ningún desplazamiento

Figura 5. 1: Tipos de apoyos

5.1.1 Cálculo

A pesar de realizar el análisis de viabilidad con la herramienta informática CATIA V5, a continuación se presenta el modo de actuar para la realización de los cálculos. Se presentan las bases teóricas utilizadas mediante el Anexo I.

El cálculo de una estructura se puede reducir, de forma genérica, a los siguientes tres pasos fundamentales:

1. Cálculo de reacciones.
2. Cálculo de solicitaciones
3. Cálculo de desplazamientos y giros.

5.1.1.1 Cálculo de reacciones

Para el cálculo de reacciones se plantean las ecuaciones de la estática ($\Sigma F = 0$, $\Sigma M = 0$), y se resuelven las incógnitas.

La estructura es hiperestática, es decir, el número de incógnitas es mayor que el de ecuaciones ($GH = I - E > 0$), se sustituyen las ligaduras necesarias por las reacciones correspondientes hasta que el sistema sea isostático, y se igualan sus desplazamientos a cero. Dichas reacciones serán incógnitas, mientras que los desplazamientos son condiciones de contorno para la resolución de las ecuaciones.

Si la estructura es hiperestática interiormente ($GH = 3 + b - 2n > 0$)

Donde:

b es el número de barras

n es el número de nudos

$$GH = 3 + 3 - 2 \cdot 2 = 2$$

La estructura del diseño es hiperestática de grado dos. Para su resolución hay que eliminar un número de coacciones igual a GH y sustituirlas por las fuerzas que ejercerían, fijando las condiciones de contorno que imponían sus coacciones.

5.1.1.2 Cálculo de solicitaciones

Por norma general, los desplazamientos y giros debidos a esfuerzos normales y cortantes serán despreciables frente a los producidos por flexión o torsión, de tal modo que se puede reducir el problema al cálculo de los momentos.[13]

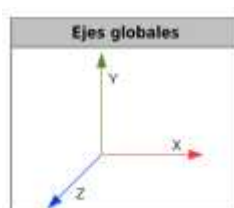


Figura 5. 2: Ejes Globales

Para ello, se secciona la estructura por cada uno de los tramos en que no existen cambios en los estados de carga y se calculan los esfuerzos normales, cortantes, flectores y torsores en cada una de las secciones según el criterio de signos adoptado.

Criterio de signos	
$N > 0$	
$V > 0$	
$M_f > 0$	
$M_t > 0$	

Figura 5. 3: Criterio de signos

5.1.1.3 Cálculo de desplazamientos y giros

Para el cálculo de los desplazamientos se aplican principalmente los teoremas de Mohr, Von Mises y Castigliano, explicados en el Anexo I.

Según la mecánica de sólidos deformables y atendiendo a las ecuaciones constitutivas que relacionan las magnitudes mecánicas y termodinámicas relevantes del sólido, el comportamiento del material de la estructura ha de ser elástico lineal isótropo para que el diseño sea viable.

5.1.2 Cálculo resistente

Cada sollicitación produce un determinado esfuerzo normal o cortante que debe ser absorbido de forma elástica por el material, de modo que la máxima tensión que debe soportar será la causada por la suma de los esfuerzos debidos a cada una de las sollicitaciones.[13]

Sollicitaciones		Tensiones generadas
N	Tracción / Compresión	$\sigma = \frac{N}{S} = E \cdot \varepsilon$ (Ley de Hooke)
V	Cortadura	$\tau = \frac{V \cdot M_e}{B \cdot I_z}$
M_F	Flexión	$\sigma = \frac{M_F \cdot y}{I_z}$ (Ecuación de Navier)
M_T	Torsión (barras cilíndricas)	$\tau = \frac{M_T \cdot r}{I_p}$ (Teoría elemental de Coulomb)

Figura 5. 4: Esfuerzos producidos por cada una de las sollicitaciones

En la ecuación de Navier, dado que y es la distancia a la línea neutra, el esfuerzo normal máximo se producirá en las zonas más alejadas del centro de gravedad de la sección. Como esa distancia es una característica geométrica de la sección, al igual que el momento de inercia, se caracteriza cada barra por medio de su módulo resistente.

$$W_z = \frac{I_z}{y_{\max}}$$

Teniendo en cuenta que normalmente los esfuerzos debidos al cortante serán despreciables, frente a los del normal y los del momento flector, se tiene que el material debe verificar:

$$\frac{N}{S} + \frac{M_F}{W_z} \leq \sigma_{adm}$$

El esfuerzo normal máximo se dará donde la suma de las tensiones debidas al normal y al flector sea máxima, teniendo en cuenta los sentidos de las tensiones generadas según sean de tracción o compresión.

En el estudio resistente de los materiales se considera que son homogéneos, para garantizar su resistencia en la práctica, de ahí considerar un coeficiente de seguridad (γ) sobre su resistencia característica (f_k), teniéndose que la tensión admisible (σ_{adm}) vendrá dada por:

$$\sigma_{adm} = \frac{f_k}{\gamma}$$

Al no tener una experiencia dilatada en el diseño de este tipo de estructuras y no existir ningún prototipo de referencia, se ha establecido un coeficiente de seguridad de dos ($\gamma=2$).

5.1.3 Cargas accidentales

Como carga accidentales únicamente se podría considerar la carga debida a impacto provocado por un mal uso o accidente, lo cual no se recoge en este proyecto.

5.2 Límites

Para un buen análisis de viabilidad de la estructura hay que conocer hasta que punto puede soportar la estructura, por lo que se establecen los siguientes criterios:

- Estado Límite Último
- Estado Límite de Servicio

5.2.1 Estado Límite Último

Los estados límite último son aquellos que se refieren a la seguridad de las personas y de la estructura. En ellos se verifica que no se produzca la pérdida del equilibrio global de la estructura (ni de ninguna de sus partes), además de comprobar que ninguno de los elementos que la forman alcanza su resistencia última, evitándose que pueda llegar a rotura.[14]

Para tener la seguridad de que esto no llegue a producirse con alto grado de probabilidad, ya se ha reseñado que en el cálculo de estructuras (y en general, en todos los ámbitos de la mecánica) se ha desarrollado una metodología que consiste en mayorar las acciones a las que va a estar sometida la estructura mediante un coeficiente parcial γ_s , y por otro lado minorar la resistencia de los elementos que la forman, mediante otro coeficiente parcial γ_M . Teniendo esto en cuenta, el fabricante de los perfiles a utilizar indica que el ELU es de 270 MPa.

Al considerar un estado límite de rotura o deformación excesiva de una sección, elemento o conexión, se debe verificar que:

$$E_d \leq R_d$$

Donde E_d es el valor de cálculo de los efectos de las acciones tales como fuerza interna, momento o un vector que represente varias fuerzas internas o momentos, y R_d es el valor de cálculo que da la resistencia correspondiente a dicho elemento.

Dentro del estado límite último es imprescindible verificar que la estructura cumple los criterios de equilibrio y estabilidad, ya que una estructura puede estar perfectamente dimensionada frente a las cargas solicitantes, pero si las cargas laterales lo hacen levantarse o volcar, todo el trabajo no habrá servido para nada. Por este motivo, se

diseñaron los apoyos, los cuales dotan a la estructura del equilibrio y estabilidad necesarios.

5.2.2 Estado Límite de Servicio

Los estados límites de servicio verifican que no se produzcan fallos en el funcionamiento de la estructura (que tenga influencia en su seguridad), en la comodidad de las personas que lo utilizan o en la propia apariencia del diseño. Un ejemplo de estos fallos puede ser una flecha excesiva en un dintel, que aunque no comprometa estructuralmente al diseño, si que puede derivar en la fisuración de los paneles. Teniendo esto en cuenta, el fabricante de los perfiles a utilizar indica que el ELS es de 225 MPa.[14]

Deberá verificarse que:

$$E_c \leq C_d$$

Donde E_c es el valor de cálculo de los efectos de las acciones especificadas en el criterio de aptitud al servicio, determinado sobre la base de la combinación correspondiente, y C_d es el valor de cálculo límite del criterio de servicio correspondiente.

Una vez se haya introducido todas las posibles combinaciones correspondientes a este estado límite, deberá comprobarse que la estructura cumple con una serie de criterios de aptitud al servicio, los cuales están relacionados con las diferencias de nivel entre puntos de un mismo pórtico, la rigidez de la cubierta, etc.

Estos criterios de rigidez se expresan en términos de limitación a las deformaciones verticales y a las vibraciones, aunque éstas últimas no serán tenidas en cuenta es este documento.

5.3 Entorno de trabajo y definición de prestaciones

Una vez definido el ámbito de aplicaciones y componentes básicos de la caja-vivienda (*ver capítulo 4*), se procederá a la toma de medidas y reconocimiento del entorno de trabajo, con el fin de acotar las dimensiones básicas y las prestaciones iniciales de la estructura.

El vehículo base a utilizar es un vehículo comercial de la marca NISSAN L-35.09, utilizado hasta el momento como vehículo comercial para el transporte de muebles.



Figura 5. 5: NISSAN L-35.09

La información del vehículo se ha tomado de la *Tarjeta de Inspección Técnica de Vehículos* así como mediciones hechas sobre el propio vehículo. Dicha información se muestra en la tabla 5.1.

DIMENSIONES	ECO
Longitud Total	6760 mm
Distancia entre ejes	3600 mm
Vía Anterior	1701 mm
Vía Posterior	1573 mm
Voladizo posterior	1930 mm

Tabla 5. 1: Dimensiones exteriores del vehículo actual

En la tabla 5.2 se presentan las limitaciones de carga del vehículo en la situación actual, estos valores se modificarán una vez retirada la caja actual e instalada la caja-vivienda. El peso del vehículo se verá superado debido a la mayor complejidad y cantidad de materiales utilizados en este nuevo modelo.

CARGAS ACTUALES	
Tara (kg)	2620
Masa máxima autorizada (kg)	3500
Masa máxima autorizada 1º eje (kg)	1950
Masa máxima autorizada 2º eje (kg)	2000
Masa ocupantes (kg)	225
Masa mobiliario (kg)	200
Masa máxima caja vivienda	255

Tabla 5. 2: Limitaciones de carga del vehículo actual

Los valores presentados en las tablas 5.1 y 5.2 se tomarán como valores límite y de referencia, los cuales se tratará de no sobrepasar.

5.4 Estimaciones de masas de la estructura

La caja-vivienda se compone de demasiados elementos (muchos de ellos aún por determinar), como para ser capaces de calcular su peso de manera exacta. Por tanto, el procedimiento de cálculo se basará en una estimación del peor caso posible sobre la estructura aplicando un coeficiente de seguridad. Esto permite trabajar con garantía a la hora de utilizar los datos estimados en la elaboración del reparto de cargas.

5.4.1 Estimación de masas de la estructura fija

La estructura fija está formada por un esqueleto rígido, constituido por tres pórticos situados en dirección transversal al eje principal del vehículo, dichos pórticos están unidos por una viga longitudinal. Sobre dicha viga longitudinal salen 8 vigas en dirección transversal. Dichas vigas conjugadas con la estructura móvil, permiten la creación de los pórticos de la caja-vivienda en su posición de vivienda. Además dichas vigas se utilizan como guía para la estructura móvil.

Se ha considerado que todos los elementos que constituyen la estructura fija son de aluminio. El software CATIA proporciona un valor aproximado del peso de la estructura.

Al desconocer la cantidad de tornillos, refuerzos, suelo, cableado, etc. que van a ser necesarios en la instalación, este valor será compensado por el coeficiente de seguridad considerado en las cargas que ha de soportar. Este coeficiente de seguridad será de dos.



Figura 5. 6: Inercias de la estructura Fija

El peso total del esqueleto de la estructura fija es de 197,651 kg, considerando el efecto de la gravedad ($g=9,81 \text{ kg/s}^2$) ejerce una fuerza de:

$$197,651 \cdot 9,81 = 1938,95 N$$

Esta fuerza ha de ser soportada por unos apoyos regulables en altura que sustentarán la estructura fija del vehículo. De este modo se evita que la suspensión esté sometida a una carga excesiva y se pueda provocar un desequilibrio en el conjunto estructural.

5.4.2 Estimación de masas de la estructura móvil

La estructura móvil está compuesta básicamente por siete semiestructuras compuestas cada una de ellas por un pilar, travesaño superior (dintel de la estructura móvil) y travesaño inferior, dando lugar a una estructura en forma de “C”. Los perfiles de las vigas que conforman esta estructura son diferentes dependiendo de las necesidades que se desean cubrir.

Se ha considerado que todos los elementos que constituyen la estructura móvil son de aluminio. El software CATIA proporciona un valor aproximado del peso de la estructura.

Al igual que para la estructura fija, se desconoce la cantidad de tornillos, refuerzos, suelo, cableado, etc. que van a ser necesarios en la instalación, este valor será compensado por el coeficiente de seguridad considerado en las cargas que ha de soportar. Este coeficiente de seguridad será de dos.

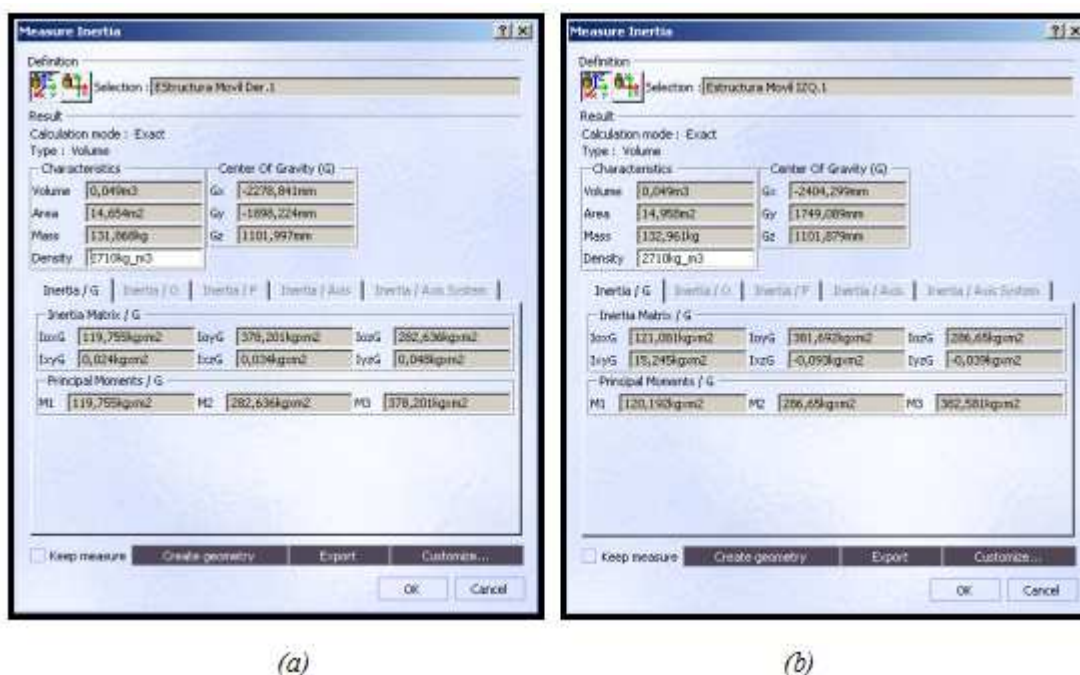


Figura 5. 7: Inercias de la estructura Móvil. a) Estructura móvil derecha; b) estructura móvil izquierda

El peso total del esqueleto de la estructura móvil derecha es de 131,868 kg, considerando el efecto de la gravedad ($g=9,81 \text{ kg/s}^2$) ejerce una fuerza de:

$$131,868 \cdot 9,81 = 1293,62 \text{ N}$$

El peso total del esqueleto de la estructura móvil izquierda es de 132,958 kg, considerando el efecto de la gravedad ($g=9,81 \text{ kg/s}^2$) ejerce una fuerza de:

$$132,958 \cdot 9,81 = 1304,32 \text{ N}$$

5.4.3 Estimación de masa del techo

El techo de la planta superior está constituido por una estructura ligera rectangular con un panel de material flexible e impermeable semejante al utilizado en las tiendas de campaña.

Se ha considerado que todos los elementos que constituyen el chasis del techo son de aluminio. El material con el que está hecha la cubierta es semejante al utilizado en las tiendas de campaña, por lo que la masa que supone es despreciable. El software CATIA proporciona un valor aproximado del peso del techo.

Para la simulación en CATIA se ha considerado que la cubierta es un panel de aluminio de 10 mm de espesor, esto simula el efecto que tendría la instalación de placas solares, efecto del viento, nieve, lluvia sobre el techo a dos aguas.



Figura 5. 8: Inercias del Techo

El techo se encuentra apoyado sobre dos soportes, por lo que el peso del techo se reparte a partes iguales a cada uno de los lados.

$$\frac{45,474}{2} = 22,74 \text{ kg} = 223,08 \text{ N}$$

En la parte que se transmite la carga mediante la biela se considerará como una carga puntual. Para la parte en la que el techo se apoya sobre la estructura móvil se considerará como una carga distribuida a lo largo de una línea. Por lo que la carga a lo largo de la línea de la estructura móvil tiene un valor de:

$$\frac{22,74}{4,5} = 5,05 \frac{\text{kg}}{\text{m}} = 49,54 \frac{\text{N}}{\text{m}}$$

5.4.4 Estimación de masa de los ocupantes

La situación más crítica para esta estructura se localiza cuando el vehículo se encuentra en modo vivienda, con la estructura móvil desplegada y con todos los ocupantes sobre la estructura.

El diseño permite albergar diez personas en la planta superior y dos en la inferior. Se ha considerado que cada una de esas personas que descansará en la planta superior, se encuentran en posición horizontal.

Las características físicas de cada una de las personas que ocuparían la parte superior son las indicadas en la figura 5.8 sabiendo que la densidad media del cuerpo humano es de 930kg/m^3 . Para la simulación en CATIA se ha considerado que la densidad de una persona es de 1000kg/m^3 .



Figura 5. 9: Inercias de todos los ocupantes de la planta superior

Teniendo en cuenta que la superficie total en planta es de 15.75m^2 . La carga total asciende a los siguientes valores.

Personas(10): 944,054Kg
 Coef. Seguridad: 2
 Carga Total: $944,054 \cdot 2 = 1888.108 \approx 2000\text{kg}$

Suponiendo la carga distribuida a lo largo de la superficie:

$$\frac{2000}{15,75} = 126,98 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^2}$$

Esto sería la carga distribuida a lo largo de la superficie del suelo del techo superior. El análisis realizado con CATIA V5 se centra en la resistencia de la estructura principal. Por esto, se ha distribuido la carga que se ha de soportar por la superficie correspondiente a cada uno de los elementos de la estructura móvil y fija. A continuación se procede al cálculo de la superficie total de las vigas sobre la que actuarán las cargas.

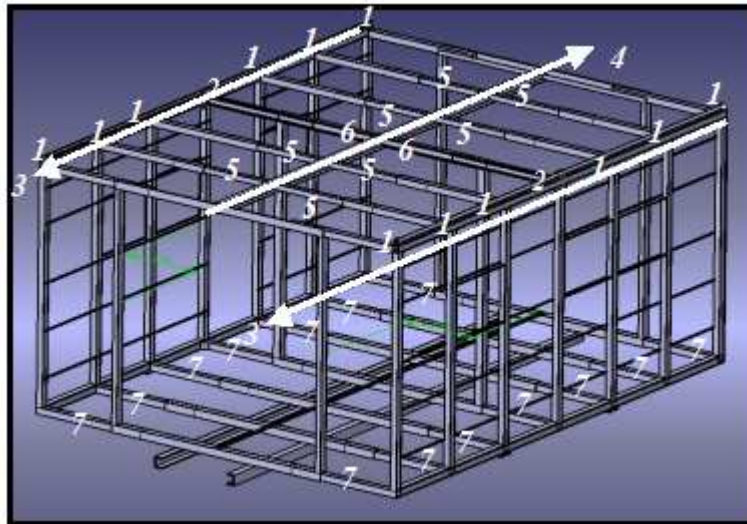


Figura 5. 10: Posición de áreas a considerar para análisis

En la figura 5.9 se ha indicado con números cada una de las superficies sobre las que van a actuar cada una de las acciones.

Con el número “1” se han indicado los travesaños superiores de las estructuras móviles. Cada uno de los travesaños tiene una superficie de apoyo de $0,063 \text{ m}^2$. Hay doce travesaños con esta superficie de apoyo, por lo que, el área total de estos travesaños es de $0,756 \text{ m}^2$.

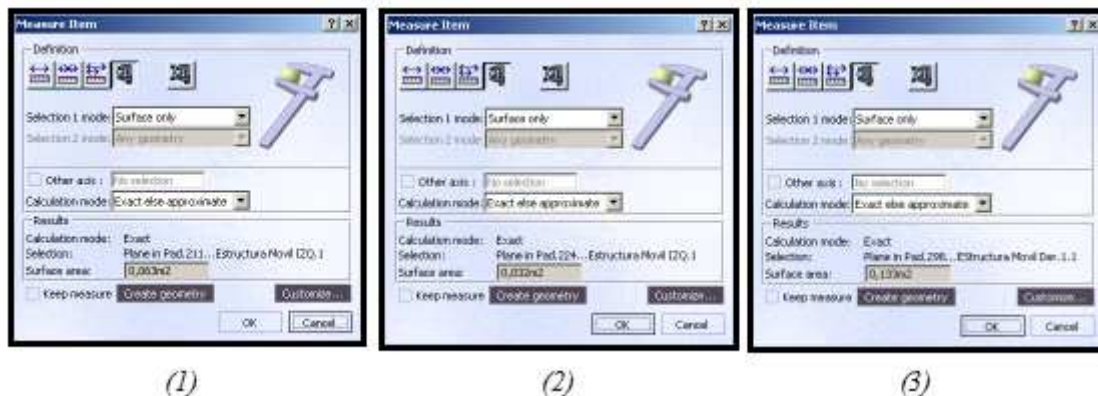


Figura 5. 11: Superficie de apoyo de cada uno de los elementos superiores que constituyen la estructura móvil. (1) Superficie travesaño superior estructura móvil (perfil caja). (2) Superficie travesaño superior central estructura móvil (perfil “C”). (3) Superficie l

Con el número “2” se han indicado los travesaños superiores centrales de las estructuras móviles. Cada uno de los travesaños tiene una superficie de apoyo de $0,41 \text{ m}^2$. Hay cuatro travesaños con esta superficie de apoyo, por lo que, el área total de estos travesaños es de $0,128 \text{ m}^2$.

Con el número “3” se han indicado los largueros superiores laterales de las estructuras móviles. Cada uno de los travesaños tiene una superficie de apoyo de $0,133 \text{ m}^2$. Hay dos largueros con este área, por lo que, el área total de estos travesaños es de $0,266 \text{ m}^2$.

Con el número “4” se ha indicado el larguero superior central de la estructura fija. Este larguero tiene una superficie de apoyo de $0,41 \text{ m}^2$.

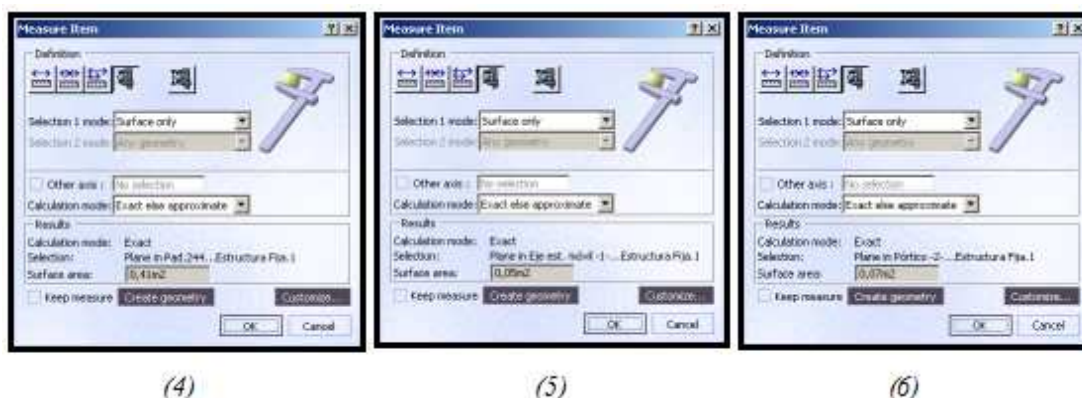


Figura 5. 12: Superficie de apoyo de cada uno de los elementos superiores que constituyen la estructura fija. (4)Superficie de apoyo del larguero superior central estructura fija(perfil “IPN”). (5)Superficie de apoyo del travesaño superior estructura fija(perfil caja).

Con el número “5” se han indicado los travesaños superiores de las estructuras fija. Cada uno de los travesaños tiene una superficie de apoyo de $0,05 \text{ m}^2$. Hay ocho travesaños con esta superficie de apoyo, por lo que, el área total de estos travesaños es de $0,4 \text{ m}^2$.

Con el número “6” se han indicado los travesaños superiores centrales de la estructura fija. Cada uno de los travesaños tiene una superficie de apoyo de $0,07 \text{ m}^2$. Hay dos travesaños con esta superficie de apoyo, por lo que, el área total de estos travesaños es de $0,14 \text{ m}^2$.

Sumando todas y cada una de las superficies de apoyo que han de soportar la carga distribuida de los ocupantes se obtiene:

Estructura Móvil			
Concepto	Área	Cantidad	Total
Travesaños	0,063	12	0,756
Trav. Central	0,032	4	0,128
Larguero	0,133	2	0,266
Estructura fija			
Concepto	Área	Cantidad	Total
Travesaños	0,05	8	0,4
Trav. Central	0,07	2	0,14
Larguero	0,41	1	0,41
Total			2,1

Tabla 5. 3: Superficie de apoyo total sobre la que actúa la carga de los ocupantes

Considerando la hipótesis de que la carga distribuida afecta de igual forma a todas y cada una de las superficies indicadas anteriormente se obtiene:

$$\frac{2000kg}{2,1m^2} = 952,38 \frac{kg}{m^2} = 9,34 \cdot 10^{-3} MPa$$

5.4.5 Estimación de masa del mobiliario

Al igual que se ha hecho en el apartado anterior, en realidad el mobiliario transmitirá su carga al suelo de la caja y este al esqueleto de la estructura.

La superficie sobre la que ha de descansar el mobiliario serán los 700 mm que se desplaza la estructura móvil a cada lado.

Las características físicas de la madera a utilizar para el mobiliario son las indicadas en la figura 5.13 sabiendo que la densidad media del conglomerado es de $200kg/m^3$.

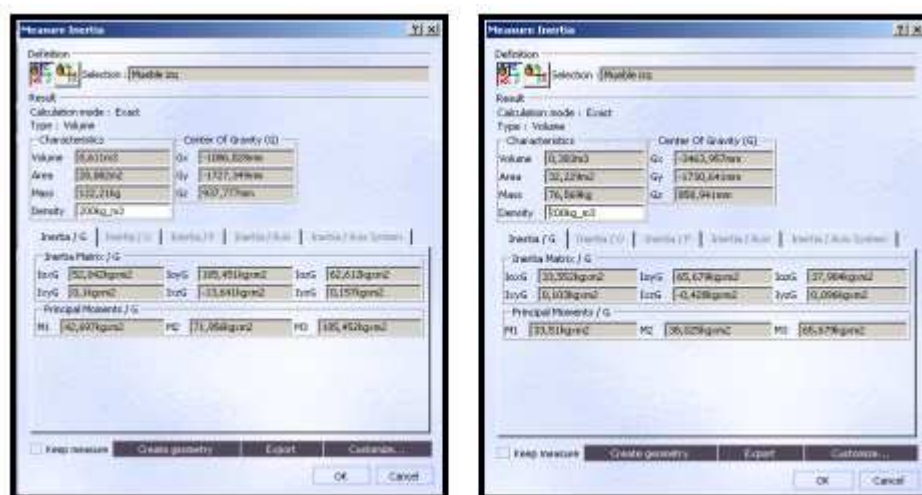


Figura 5. 13: Inercias del mobiliario

Se ha considerado que la carga por cada lado será la suma de cada módulo diseñado. En la realidad no se colocará tal cantidad de mobiliario, pero permite mayorar las cargas en la simulación CATIA. La carga total asciende a los siguientes valores.

$$\text{Mobiliario: } 122,21 + 76,569 = 198,78kg$$

$$\text{Coef. Seguridad: } 2$$

$$\text{Carga Total por lateral: } 198,78 \cdot 2 = 397,56 \approx 400kg$$

Suponiendo la carga distribuida a lo largo de la superficie:

$$\frac{400}{15,75} = 25,39 \frac{Kg}{m^2}$$

Esto corresponde a la carga distribuida a lo largo de la superficie del suelo de la planta inferior de uno de los laterales.

El análisis realizado con CATIA V5 se centra en la resistencia de la estructura principal. Por esto, se ha distribuido la carga ha soportar por la superficie correspondiente a cada

uno de los elementos de la estructura móvil. A continuación se procede al cálculo de la superficie total de las vigas sobre la que actuarán las cargas.



(7)

Figura 5. 14: Superficie de contacto de cada uno de los elementos inferiores que constituyen la estructura móvil

En la figura 5.9 se indica con el número “7” los travesaños inferiores de las estructuras móviles. Cada uno de los travesaños tiene un área de 0,059 m². Hay catorce travesaños con esta superficie de apoyo, por lo que, el área total de estos travesaños es de 0,826 m².

Considerando la hipótesis de que la carga distribuida afecta de igual forma a todas y cada una de las superficies indicadas anteriormente se obtiene:

$$\frac{400\text{kg}}{0,826\text{m}^2} = 484,26 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} = 4,75 \cdot 10^{-3} \text{MPa}$$

5.4.6 Estimación de masa totales

A modo de resumen se presentan cada una de las solicitaciones que ha de soportar el conjunto estructura.

Peso propio de estructura fija		197,651 kg	1938,95 N
Peso propio estructura móvil derecha		131,868 kg	1293,62 N
Peso propio estructura móvil izquierda		132,958 kg	1304,32 N
Techo	Est. Fija	22,74 kg	22,08 N
	Est. Movil	5,05 kg/m ²	49,54 N/m
Ocupantes		952,38 kg/m ²	9343 N/m ²
Mobiliario		484,26 kg/m ²	4750 N/m ²

Tabla 5. 4: Cargas que actúan sobre la estructural

6.- CÁLCULO ESTRUCTURAL

6 CÁLCULO ESTRUCTURAL

En este capítulo se da la información necesaria para realizar los primeros cálculos de la estructura. Se estudiarán cada una de las opciones y se irá tomando decisiones en función de lo detallado en los capítulos anteriores. Para el cálculo estructural se utiliza el módulo “*Analysis & Simulation*” del software CATIA V5.

6.1 Propiedades de las vigas

En los capítulos anteriores se estudió la posibilidad de utilizar diferentes perfiles considerando única y exclusivamente la facilidad de ensamblaje de cada uno de los elementos de la estructura. Por lo que se va a respetar los criterios de diseño en lo posible.

Se ha realizado una Hoja de Cálculo a través de *Microsoft Excel* que permite obtener toda la información necesaria disponiendo de las dimensiones de los perfiles.

En la fabricación de la caja-vivienda se utilizan perfiles anodizados con una geometría semejante a la mostrada en la figura 6.1.[15][20][24]

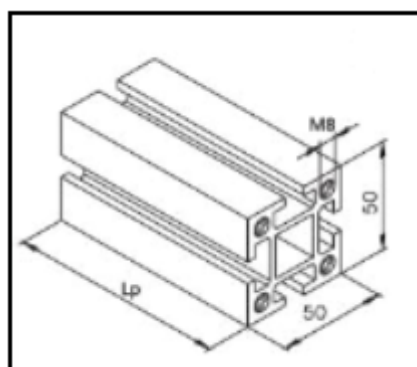


Figura 6. 1: Perfil anodizado

Este tipo de perfil tiene mayor resistencia mecánica que cualquiera de los perfiles utilizados en el diseño, por lo que, con las mismas dimensiones exteriores se obtiene mejor comportamiento de la estructura que el calculado con CATIA. Los perfiles anodizados permiten, gracias a su geometría, unir de forma rápida y segura cualquier elemento a los perfiles.

6.1.1 Perfiles de Caja

La gran mayoría de los perfiles diseñados en CATIA para la caja-vivienda son perfiles de caja. Se ha realizado un estudio de las propiedades que ofrecen estos perfiles.

Ha de tenerse en cuenta que se utilizarán perfiles de caja de 60x60mm como perfiles de mayor medida. Esto se debe a que al ser un diseño para una única unidad se dispone de este material, de forma que supone un ahorro económico.

El Anexo II-A muestra la tabla *Excel* con las características mecánicas de los perfiles utilizados en el diseño.

Este tipo de perfil es la base de cálculo de la tabla *Excel* utilizada. Los demás perfiles calculados son una modificación de esta hoja de cálculo.

6.1.2 Perfiles “IPN”

A pesar de que este tipo de perfiles proporciona buenos resultados en el diseño de estructuras, para este diseño en concreto no cumplía, en la mayoría de los casos, con los requerimientos necesarios.

El Anexo II-B muestra la tabla *Excel* con las características mecánicas del perfil utilizado en el diseño.

6.1.3 Perfiles en “C”

Este tipo de perfiles se ha utilizado como mejor solución técnica para la parte central superior de la estructura móvil.

El Anexo II-C muestra la tabla *Excel* con las características mecánicas del perfil utilizado en el diseño.

6.1.4 Perfiles en “U”

Este tipo de perfiles se ha utilizado como única opción que cumplía los requisitos de diseño. Inicialmente fue una de las primeras opciones de diseño, según avanzaba la fase de concepción del diseño, este tipo de perfil, se tuvo que descartar por no satisfacer las necesidades requeridas.

El Anexo II-D muestra la tabla *Excel* con las características mecánicas del perfil utilizado en el diseño.

6.2 Método de elementos finitos

En este apartado y utilizando la información proporcionada por el apartado anterior se va a realizar un estudio de un pórtico de la estructura.

Siempre se trata de trabajar del lado de la seguridad por lo que para el estudio de la capacidad de carga de los pórticos se han tomado las siguientes consideraciones:

- a) Las dimensiones del perfil de viga del dintel corresponde a la viga de menor tamaño (viga interior) para toda la longitud del dintel.
- b) No se considerará el solape de la viga interior y la exterior.
- c) El pórtico a estudiar será el correspondiente al de mayor longitud de dintel.
- d) Se consideran la distribución de las cargas detallado en el capítulo anterior.
- e) La estructura móvil está desplazada 700 mm respecto del borde exterior de la estructura fija.

6.2.1 Pórtico simple

CATIA permite simular cualquier situación. Teniendo en cuenta el método de equilibrio se puede analizar medio pórtico, esto se debe a la simetría del diseño y de las cargas.

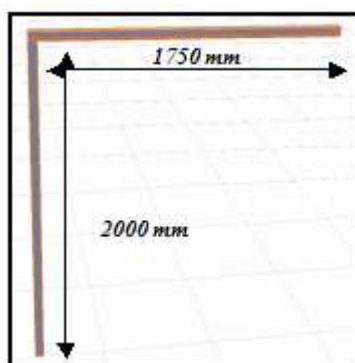


Figura 6. 2: Semipórtico

El objetivo es que el diseño de la estructura, (en este apartado del semipórtico) esté bajo las condiciones más desfavorables. Esto implica que se analizará la situación en la que la caja-vivienda esté en modo vivienda. Además se ha de considerar el pórtico con la mayor longitud de dintel. Todas estas condiciones se detallaron en el capítulo anterior.

Utilizando el software CATIA V5 se ha realizado un análisis de viabilidad estructural mediante una simulación con elementos finitos. A continuación se presenta un resumen de los resultados obtenidos.

CATIA ofrece un informe completo del análisis realizado. Este informe se encuentra en el Anexo III-A.

La figura 6.3 muestra la escala de Tensiones de Von Mises alcanzada por la estructura, además se indican los valores extremos.

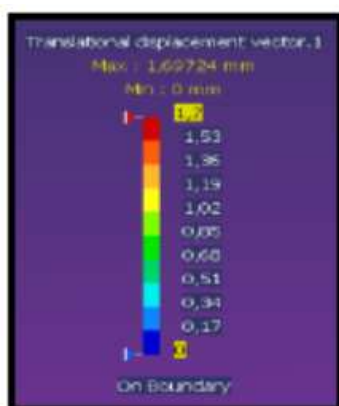


- Tensión Máxima: 19,901 MPa
- Tensión Mínima: $20,55 \cdot 10^{-3}$ MPa

Figura 6. 3: Tensión de Von Mises para Semipórtico

Como se ha podido observar, estos valores extremos no alcanzan el límite de servicio del material, por lo tanto, el diseño cumple con las especificaciones establecidas.

En la figura 6.4 se muestra los desplazamientos máximos que sufre la estructura. A pesar de superar el límite de servicio del material, se obtiene una flecha excesiva. Esta flecha se localiza en la zona central superior de la estructura, que coincide con la posición del perfil “IPN” del larguero superior de la estructura fija.



- Desplazamiento Máximo: 1,69724mm
- Desplazamiento Mínimo: 0 mm

Figura 6. 4: Desplazamientos del semipórtico

Los resultados que presenta el software CATIA V5 en términos de comportamiento del material son admisibles debido a que no se llega al límite del material. Se considera inadecuada la flecha que presenta este modelo por motivos estéticos no por motivos mecánicos.

Estos desplazamientos excesivos pueden deberse a una mala definición de restricciones del semipórtico. Debido a estos resultados se ha decidido realizar un análisis del pórtico completo, con el objeto de verificar la fiabilidad de los resultados obtenidos en este primer análisis.

6.2.2 Pórtico completo

Debido a los resultados obtenidos en el análisis del semipórtico se realiza un análisis del pórtico completo. Para este análisis se han considerado las condiciones de contorno y carga a las que se encuentra sometida la estructura. Estas condiciones corresponden a que la base de las columnas se encuentran con todos sus grados de libertad restringidos (empotramiento).

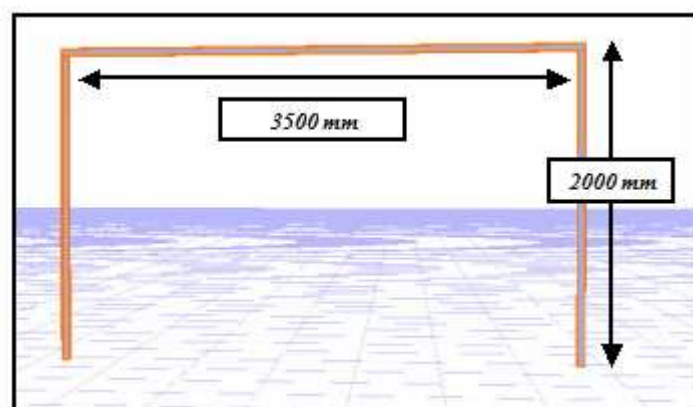


Figura 6. 5: Pórtico

Al igual que en el apartado anterior, se ha tenido en cuenta las estimaciones que se realizaron en el capítulo 4. Utilizando el software CATIA V5 se ha realizado un análisis de viabilidad estructural mediante una simulación por elementos finitos. A continuación se presenta un resumen de los resultados obtenidos.

CATIA ofrece un informe completo del análisis realizado, dicho informe se encuentra en el Anexo III-B.

La figura 6.6 muestra la escala de Tensiones de Von Mises alcanzada por la estructura, además se indican los valores extremos.



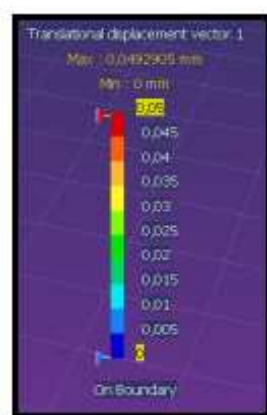
- Tensión Máxima: 1,33984 MPa
- Tensión Mínima: 0,16678 MPa

Figura 6. 6: Tensión de Von Mises para Pórtico

Al igual que en el apartado anterior el límite de servicio del material no es superado por el efecto de las cargas sobre el material. No obstante, como se puede observar el valor de la tensión es muy inferior al hallado en el apartado anterior. Esto se debe a un error en las condiciones de contorno establecidas en el apartado anterior.

Como se ha podido observar estos valores extremos no alcanzan el límite de servicio del material, por lo tanto, el diseño cumple con las especificaciones establecidas.

En la figura 6.7 se muestra el desplazamiento máximo que sufre la estructura. La flecha máxima experimentada por el pórtico es de aproximadamente 0,05 mm, lo que supone una flecha despreciable. Esta flecha se localiza en la zona central superior de la estructura, que coincide con la posición del perfil “IPN” del larguero superior de la estructura fija.



- Desplazamiento Máximo: 0,04929mm
- Desplazamiento Mínimo: 0 mm

Figura 6. 7: Desplazamientos del Pórtico

Como se ha podido observar estos valores extremos no alcanzan el límite de servicio del material, por lo tanto, el diseño cumple con las especificaciones establecidas.

6.3 Estimaciones para el análisis de la estructura completa

Una vez realizado el análisis del pórtico considerando la situación más desfavorable para la estructura, se realiza el análisis de viabilidad de toda la estructura. Para la realización de este análisis se ha tenido en cuenta una serie de estimaciones.

El diseño de los travesaños de la estructura fija y móvil están unos dentro de otros, obligando a un solape de ambos perfiles a lo largo de una distancia aproximadamente de 200-300 mm. Esto hace que en los pórticos exista una zona en la que el perfil de la viga es el mismo que el de la viga exterior y con un espesor igual a la suma de los espesores del perfil de la viga exterior e interior.

6.3.1 Apoyos

La estructura está fijada al chasis del vehículo. El peso propio del vehículo, caja-vivienda y carga a soportar se transmitirá al terreno a través de los apoyos o a través del chasis del vehículo. El chasis del vehículo soportará la carga de la caja-vivienda que será transmitida al terreno.

Para realizar la simulación mediante CATIA V5 se ha considerado que:

- Los largueros de la base de la estructura, al estar fijados rígidamente al chasis del vehículo, se consideran que están empotrados en el firme.
- La estructura móvil se sustenta en unos apoyos que transmiten las cargas al terreno, por lo que se considera que estos puntos de unión entre soporte y apoyos están empotrados al firme.

Mediante la opción “Clamp” del módulo “Restraints” del software CATIA V5 se considera que las superficies indicadas tienen todos sus grados de libertad restringidos, por lo que se suponen que dichas superficies están empotradas en el terreno.

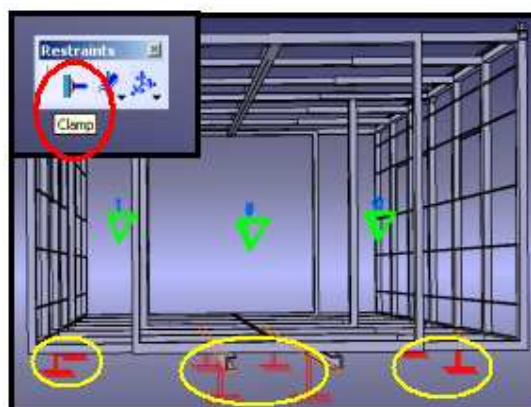


Figura 6. 8: Empotramientos de la estructura

6.3.2 Restricciones

Para la simulación de la unión entre la estructura fija y móvil se consideran las siguientes restricciones:

- La creación de la estructura fija a partir del *PartBody* considera que la unión de cada uno de los elementos que la constituyen se realiza mediante soldadura de cada una de las caras.
- La creación de cada una de las estructuras móviles a partir del *PartBody* considera que la unión de cada uno de los elementos que la constituyen se realiza mediante soldadura de cada una de las caras.
- La unión entre la estructura fija y móvil se realiza mediante la simulación de que cada una de las vigas interiores está dentro de las vigas exteriores. La unión entre ambos perfiles se simula como si estuviesen atornilladas ambas vigas en la zona donde coinciden ambos perfiles.

- d) Las cargas que ha de soportar la estructura se aplican directamente sobre la estructura, es decir sin considerar el efecto del suelo.
- e) Las cargas que ha de soportar la estructura se consideran como cargas distribuidas a lo largo de la superficie superior de cada uno de los travesaños.
- f) El peso propio de la estructura es considerado como una carga distribuida por unidad de volumen (N/m^3) inducido por la aceleración de la gravedad ($9,81 \text{ m/s}^2$).

Las restricciones indicadas con anterioridad en CATIA se realizan mediante dos pasos.

- a) **“General Analysis Connection”**: Opción del módulo “*Análisis Support*” que permite considerar partes pertenecientes a distintos *CATProduct* como uno solo. Esta opción permite simular la unión entre la estructura fija y móvil considerando que dichas partes se comporten como una sola.
- b) **“Fastened Connection Property”**: Opción del módulo “*Connection Properties*” que permite definir que tipo de unión existe entre la estructura fija y móvil. Se ha optado por definir una unión atornillada a pesar de que en la realidad no sucede así. Esta opción se aproxima a la realidad con más precisión debido a que la soldadura considera como unión rígida a toda la superficie de contacto (4caras x 300mm de largo x 50mm de ancho) o solo la línea de contacto entre ambos perfiles. La unión atornillada permite en la simulación que la zona donde ambos perfiles están concéntricos se mueva simultáneamente transmitiéndose el 100% de la carga entre ambos.

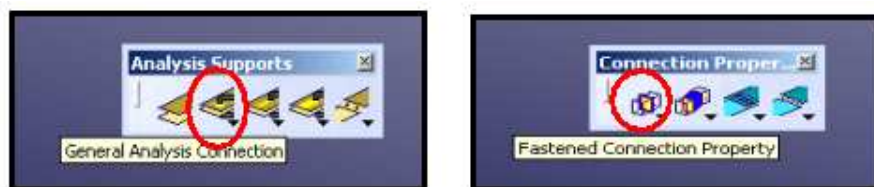


Figura 6. 9: Opciones de simulación entre unión de Est. Fija y Móvil.

Como se puede observar en la Figura 6.10 todos y cada uno de los travesaños de la estructura fija y móvil (tanto superiores como inferiores) poseen una línea de unión entre ambos.

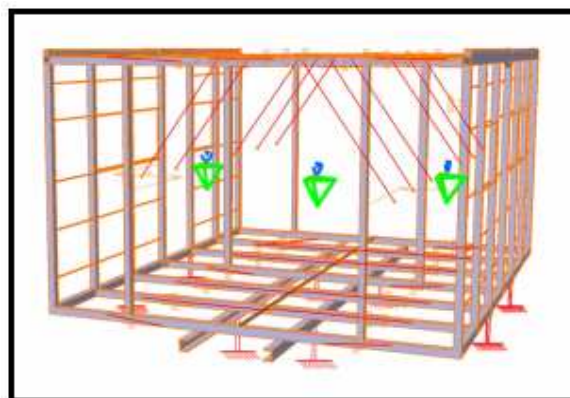


Figura 6. 10: Detalle de unión de la estructura fija con las móviles

6.3.3 Mallado

El mallado de la estructura es un factor que proporciona más o menos precisión a los resultados del análisis a realizar en función de su tamaño. Previo al análisis que se realiza en el siguiente apartado se estudiaron varios tipos y tamaños de mallado. Tras este estudio se observó que no existía variación de los resultados modificando estas variables debido a la sencillez del modelo.



Figura 6. 11: Selección de mallado para el análisis

6.4 Análisis de la estructura completa

A través del módulo de simulación de la herramienta CATIA V5 se realiza el análisis del comportamiento de la estructura frente a las acciones cuya magnitudes se calcularon en el capítulo anterior.

A continuación se detalla cada una de las opciones de simulación de las cargas a través del módulo “Loads” del software CATIA V5.

6.4.1 Peso propio de la estructura

La estructura de aluminio estará sometida a la acción de la gravedad ($9,81m/s^2$). Mediante la opción “Acceleration” del módulo “Loads” del software CATIA V5 se simula la acción de la gravedad sobre la estructura.



Figura 6. 12: Selección aceleraciones sobre la estructura

Para el análisis del comportamiento de la estructura se considera este efecto igual para cada una de las estructuras que conforman el conjunto caja-vivienda(est. fija, est. móvil derecha y est. móvil izquierda). En el software CATIA V5 se representa gráficamente como flechas en la dirección “Z” en sentido negativo (efecto de la gravedad).

En la figura 6.13 se muestra la imagen que ofrece CATIA para representar el efecto de la gravedad sobre las tres estructuras (Indicado en el cuadro *Support*) y el cuadro de diálogo en el que se indica el valor de dicha acción.

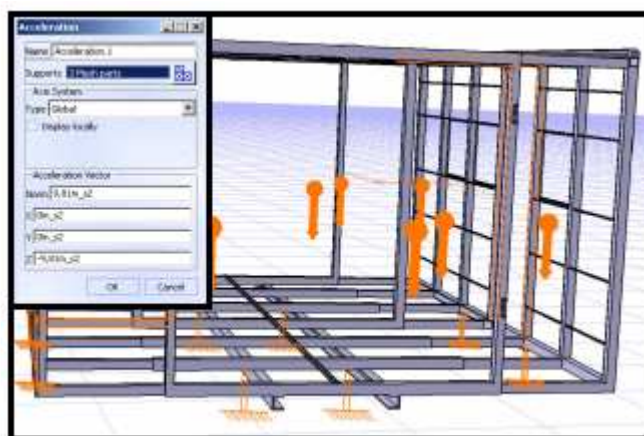


Figura 6. 13: Aceleración de la gravedad sobre las estructuras

6.4.2 Techo

En el capítulo anterior se detalló el valor de la acción del techo sobre cada una de las estructuras (estructuras móviles y fija).

Mediante la opción “*Surfaces Force Density*” del módulo “*Loads*” del software CATIA V5 se simula la acción del techo sobre las estructuras móviles. La acción que ejerce el techo sobre dicha estructura es semejante tanto para la estructura móvil derecha como izquierda.



Figura 6. 14: Selección Fuerza por unidad de longitud

La acción del techo ha de ser soportada por los largueros superiores de la estructura móvil. En el cuadro de diálogo “*Support*” aparecen dos elementos que corresponden a la suma de los elementos que soportan directamente la carga.

En el capítulo anterior se calculó el valor del peso del techo y la fuerza por superficie de área que debería soportar cada uno de los elementos de las estructuras (tanto móvil como fija). Se consideró además que la carga a soportar sería la misma para todos y cada uno de los elementos.

El esfuerzo a soportar es de $-49,54 \text{ N/m}^2$ por elemento estructural en la dirección del eje “Z”. Se indica que es negativo debido al efecto de la gravedad.

En el capítulo anterior se especificó que la carga del techo que debía soportar la estructura fija era una carga puntual. Para la simulación se ha optado por considerar dicha carga como una Fuerza por unidad de longitud situada a lo ancho del perfil del larguero central superior.



Figura 6. 15: Fuerza por unidad de longitud debido al techo.

6.4.3 Ocupantes

En el capítulo anterior se detalló el valor de la acción de los ocupantes sobre cada uno de los travesaños superiores de la estructura (tanto móvil como fija).

Mediante la opción “*Surfaces Force Density*” del módulo “*Loads*” se simula la acción de los ocupantes sobre las estructuras.



Figura 6. 16: Selección Fuerza por unidad de superficie

El acción de la carga de los ocupantes ha de ser soportada por diez travesaños de la estructura fija, dieciséis travesaños de la estructura móvil, el larguero superior central de la estructura fija y los largueros superiores de las estructuras móviles. En el cuadro de diálogo “*Support*” aparecen veintinueve elementos que corresponden a la suma de los elementos que soportan directamente la carga.

En el capítulo anterior se calculó el valor del peso de los ocupantes y la fuerza por superficie de área que debería soportar cada uno de los elementos de las estructuras (tanto móvil como fija). Se consideró además que la carga a soportar sería la misma para todos y cada uno de los elementos.

El esfuerzo a soportar es de -9343N/m^2 por elemento estructural en la dirección del eje “Z”. Se indica que es negativo debido al efecto de la gravedad.



Figura 6. 17: Fuerza por unidad de superficie debido a los ocupantes

6.4.4 Mobiliario

En el capítulo anterior se detalló el valor de la acción del mobiliario sobre cada uno de los travesaños inferiores de la estructura móvil (tanto derecha como izquierda).

Mediante la opción “*Surfaces Force Density*” del módulo “*Loads*” se simula la acción del mobiliario sobre las estructuras.



Figura 6. 18: Selección Fuerza por unidad de superficie

Cada una de las estructuras móviles está compuesta por siete travesaños inferiores, por lo que en el cuadro de diálogo “*Support*” aparecen catorce elementos que corresponden a la suma de los elementos que soportan directamente la carga.

En el capítulo anterior se calculó el valor del peso del mobiliario y la fuerza por superficie de área que debería soportar cada uno de los travesaños inferiores de las estructuras móviles. Se consideró además que todos y cada uno de los travesaños soportaría la misma carga.

El esfuerzo a soportar es de -4750N/m^2 por travesaño en la dirección del eje “Z”. Se indica que es negativo debido al efecto de la gravedad.



Figura 6. 19: Fuerza por unidad de superficie debido al mobiliario

Una vez incluido en el diseño todas y cada una de las acciones y coacciones que presenta el modelo, se procede a analizar la estructura mediante el método de elementos finitos(FEM).

6.5 Análisis del diseño mediante FEM

Mediante el módulo “*Compute*” se realizan los cálculos necesarios para conocer el comportamiento de la estructura frente a las acciones que actúan sobre ella.

Una vez realizado el análisis de la estructura, CATIA V5 proporciona un informe en formato “.html” con los resultados. Este informe muestra la información necesaria para conocer si la estructura cumple con los requerimientos exigidos. Al igual que en los apartados anteriores CATIA ofrece un informe completo del análisis realizado, dicho informe se encuentra en el Anexo IV.

6.5.1 Características del Material Simulado

En la tabla 6.1 se muestran las propiedades mecánicas del aluminio con el que se ha realizado el análisis de viabilidad de la estructura.

Material	Aluminium
Young's modulus	7e+010 N/m ²
Poisson's ratio	0,346
Density	2710 kg/m ³
Coefficient of thermal expansion	2,36e-005 Kdeg ⁻¹
Yield strength	9,5e+007 N/m ²
Limite de servicio	225 MPa
Limite elástico	270 MPa

Tabla 6. 1: Fuerza por unidad de superficie debido al mobiliario

La figura 6.20 muestra la estructura a analizar utilizando el software CATIA V5. Como se puede observar únicamente aparece el esqueleto de la caja vivienda.

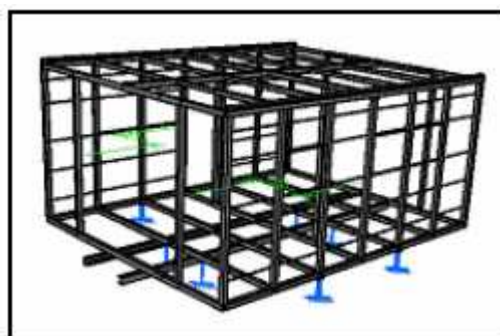


Figura 6. 20: Fuerza por unidad de superficie debido al mobiliario

Una vez cargadas todas las restricciones, acciones a soportar, etc. Se procede al cálculo mediante elementos finitos. A través de la opción “*Compute*” CATIA realiza el análisis de la estructura. Este análisis consiste en realizar varias iteraciones hasta llegar a un error despreciable. En este caso CATIA iteró 3 veces hasta encontrar la mejor solución.

6.5.2 Acciones y Reacciones

La tabla 6.2 ofrece los valores máximos de los esfuerzos, reacciones y errores que presenta la estructura en cada una de las direcciones de sus tres ejes.

Components	Applied Forces	Reactions	Residual	Relative Magnitude Error
Fx (N)	0.0000e+000	-8.4852e-009	-8.4852e-009	2.7476e-012
Fy (N)	0.0000e+000	6.2678e-009	6.2678e-009	2.0296e-012
Fz (N)	-2.8668e+004	2.8668e+004	3.9396e-008	1.2757e-011
Mx (N·m)	-4.0422e+003	4.0422e+003	1.5423e-008	1.0271e-012
My (N·m)	-7.1231e+004	7.1231e+004	-7.2527e-008	4.8302e-012
Mz (N·m)	0.0000e+000	-2.1482e-008	-2.1482e-008	1.4307e-012

Tabla 6. 2: Valores máximos de las reacciones

6.5.3 Deformaciones

La figura 6.21 muestra el desplazamiento de la estructura indicando en que puntos de la misma se experimenta el mayor desplazamiento.

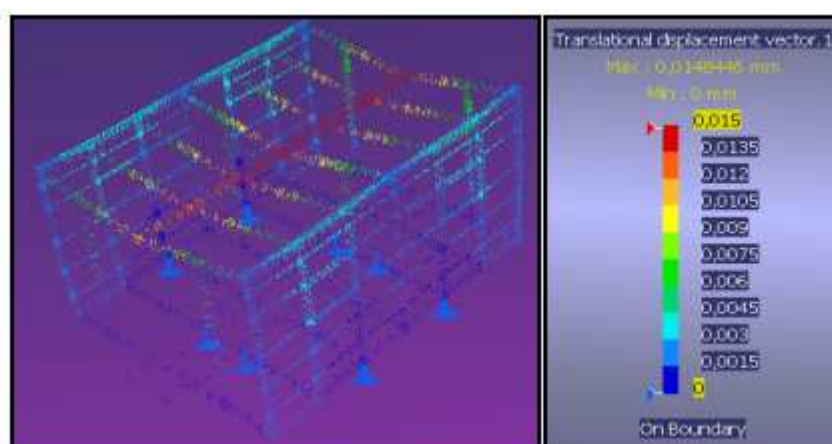


Figura 6. 21: Desplazamiento que sufre la estructura.

Como se puede observar la zona indicada con el color rojo es la que experimenta el mayor desplazamiento, esta zona corresponde al larguero central de la estructura fija.

Los valores extremos de desplazamiento traslacional que presenta la estructura son los siguientes:

- Desplazamiento máximo: 0,0148446 mm
- Desplazamiento mínimo: 0 mm

Este desplazamiento experimentado por el conjunto estructural se puede considerar como aceptable. Este valor es muy pequeño debido a los perfiles utilizados para el diseño.

6.5.4 Tensiones (Von Mises)

La figura 6.22 muestra mediante una escala de colores que zonas de la estructura están sometidas a un determinado rango de tensiones. Como se puede observar la estructura no se encuentra en una situación crítica. La escala que utiliza CATIA V5 se basa en N/m^2 .

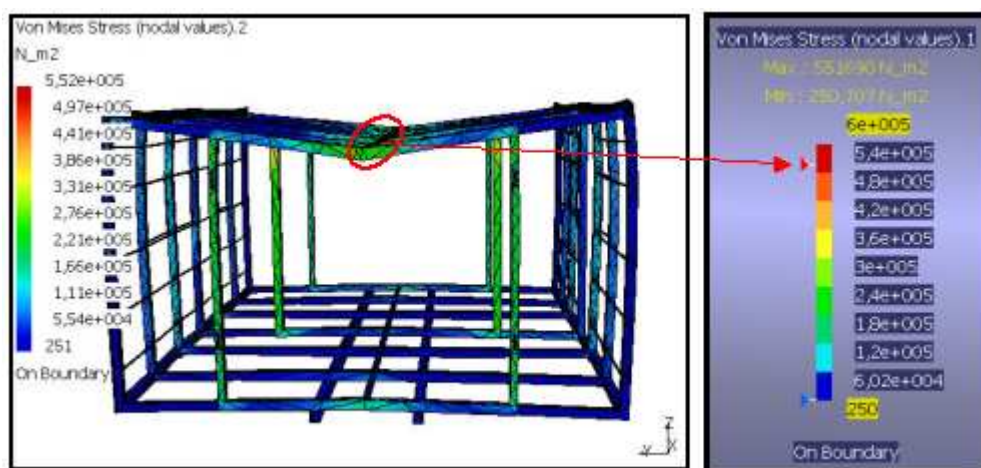


Figura 6. 22: Tensiones de Von Mises que soporta la estructura

En la figura 6.22 se muestran los valores extremos de la tensión de Von Mises. Como se puede observar, estos valores son muy inferiores a los límites del material.

Los valores alcanzados son:

- Tensión máxima: $5,51690 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2 \rightarrow 0,552 \text{ Mpa}$
- Tensión mínima: $250,707 \text{ N/m}^2 \rightarrow 2,5 \cdot 10^{-4} \text{ MPa}$

Los resultados obtenidos pueden ser considerados como válidos. Comparando los resultados con los obtenidos del análisis del pórtico completo, se puede observar que la estructura está sometida a menor esfuerzo que el pórtico simple. Esto se debe al solape

entre ambos perfiles. Los máximos esfuerzos se localizan en el punto medio del dintel superior.

6.5.5 Errores

CATIA ofrece la opción de poder conocer el error que puede cometer en sus análisis, esto permite conocer la fiabilidad de los resultados. En este caso el error cometido es muy pequeño y no es influyente en la fiabilidad de los resultados obtenidos.

- Error máximo: 0,0041853 J
- Error mínimo: $1,98087 \cdot 10^{-11}$ J

6.6 Comportamiento del chasis

Una vez realizado el análisis de la estructura mediante elementos finitos y comprobado que el diseño de la estructura es apto para la fabricación, se procede al impacto que tendría el diseño sobre el vehículo.

6.6.1 Principios de cálculo

Todo el procedimiento para el cálculo de la longitud de la caja, la capacidad de carga y la carga sobre ejes adecuadas está basado en principios de acción reacción.

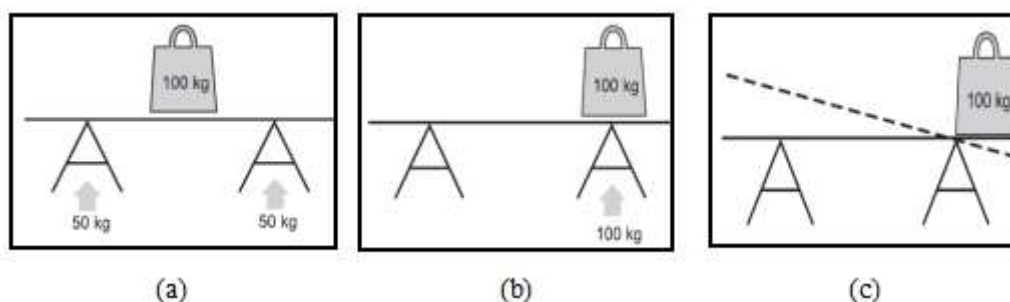


Figura 6. 23: Principio de acción-reacción(1)

La suma de las fuerzas dirigidas hacia abajo deberá ser siempre igual a la suma de las fuerzas dirigidas hacia arriba.

Si se pone una tabla (que se asume no pesa nada) sobre dos caballetes y se coloca una pesa de 100kg en el centro de la tabla, los dos caballetes se verán cargados con la mitad del peso, es decir, 50 kg cada uno(Figura 6.23 (a)).

Poniendo la pesa justamente encima de un caballete, éste soportará una carga de 100kg y el otro no estará sometido a carga alguna(Figura 6.23(b)).

Colocando la pesa fuera de uno de los caballetes, se levantará la tabla del otro caballete(Figura 6.23(c)).

Para que no vuelque la tabla, es necesario poner una pesa de cómo mínimo 20kg sobre el primer caballete, para obtener una relación de peso equilibrado. En este caso, toda la carga recaerá sobre el segundo caballete. Esta descripción se conoce popularmente como el principio de la palanca. [26]

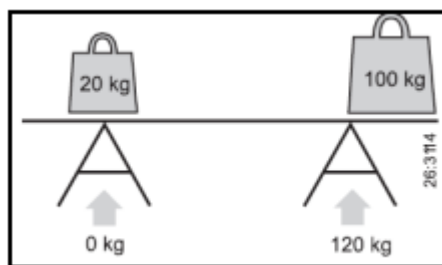


Figura 6. 24: Principio de acción-reacción (2)

6.6.2 Capacidad de carga

El trabajo de transporte de todo tipo con un camión exige completar el chasis del camión con alguna forma de superestructura o carrocería.

El objeto de los cálculos para el carrozado es optimizar el chasis y la ubicación de la carrocería a fin de obtener un máximo de carga útil, sin exceder los límites máximos técnicos y legales de carga sobre ejes y sobre boggie.[26]

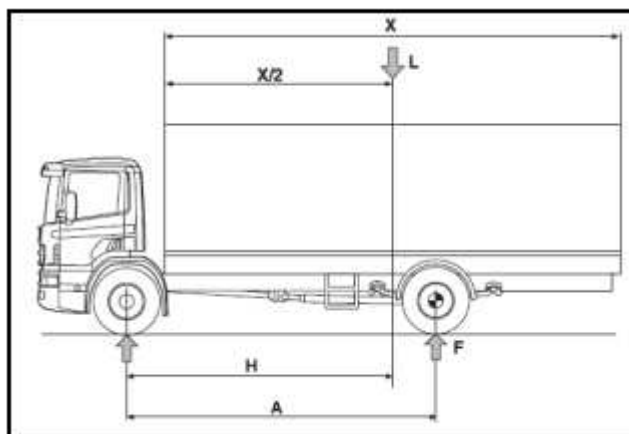


Figura 6. 25: Cotas para cálculo de reacciones

Para conseguir el equilibrio, la carga L multiplicada por su palanca H deberá dar el mismo resultado que la fuerza de reacción F multiplicada por su palanca, es decir, la distancia A . La tabla 6.3 muestra las características del vehículo base.

VEHÍCULO	
Tara (kg)	2620
Masa máxima autorizada (kg)	3500
Masa máxima autorizada 1º eje (kg)	1950
Masa máxima autorizada 2º eje (kg)	2000
Altura total (mm)	3290
Anchura total (mm)	2130
Altura C.D.G. vehículo (mm)	1500
Altura C.D.G. 2º eje (mm)	1374
Via anterior (mm)	1701
Via posterior (mm)	1573
Longitud total (mm)	6760
Voladizo posterior (mm)	1930
Distancia entre ejes (mm)	3600
DIMENSIONES DE LA CAJA	
Largo (m)	4600
Ancho (m)	2100
Alto (m)	2000
Superficie en planta (m ²)	9,66
Volumen (m ³)	19,32

Tabla 6. 3: Características del vehículo base

La capacidad de carga del vehículo es de 880 kg.

$$MMA - Tara = 3500 - 2620 = 880kg$$

Uno de los principales objetivos del diseño es que no sea necesario modificar las características del vehículo base. Para ello ha de respetar las características dimensionales y de peso indicadas en la tabla 6.3.

La tabla 6.4 muestra el peso de cada uno de los elementos que conforma la caja vivienda. Se ha considerado para el cálculo de la capacidad de carga del vehículo base que el peso de la estructura fija del diseño es igual al peso de la caja de carga que monta actualmente el vehículo. Por lo que la carga a considerar es:

	kg
Estructura móvil derecha	132
Estructura móvil izquierda	132
Techo	45
Mobiliario	240
TOTAL	549

Tabla 6. 4: Cargas del diseño

Teniendo en cuenta la carga que admite el vehículo actualmente y el peso de los componentes del diseño, se puede concluir que el vehículo es apto para el montaje de la caja-vivienda, puesto que:

$$\text{Carga máx. admisible} - \text{Peso diseño} = 880 - 549 = 331 \text{ kg}$$

Esto significa que el diseño permite una carga adicional de 331kg, por lo que el diseño es válido para instalarlo en el vehículo. Teniendo en cuenta que se ha incluido el mobiliario, la única carga adicional que hay que considerar es la del equipaje, depósitos, y agua.

La capacidad del depósito es de unos 70 litros, lo ideal es que el depósito vaya vacío y se llene en su lugar de estacionamiento, por lo que se ha considerado una carga de ambos depósitos (Agua limpia y residual) de 50kg en total. El peso de los depósitos es de unos 10kg aproximadamente. Se dispone de dos depósitos, uno de agua limpia y otro residual. Considerando que cada persona lleva 15kg de equipaje, suponiendo que el vehículo estará ocupado por doce personas, se tiene que:

	kg
Agua	50
Depósitos	20
Equipajes	180
TOTAL	250

Tabla 6. 5: Cargas adicionales

Considerando esta situación de carga del vehículo como condición más desfavorable, la masa máxima alcanzada en circulación sería de:

$$2620 + 549 + 250 = 3419 \text{ kg}$$

Por lo que no se supera la M.M.A. del vehículo (3.500kg) debido a que los pesos indicados están mayorados.

6.6.3 Reparto de pesos

Una vez comprobado que el diseño de la caja vivienda no hace superar la M.M.A. del vehículo. En el presente apartado se va realizar un estudio del reparto de pesos del vehículo, con el fin de comprobar la conformidad del diseño.

Se conoce la distribución de carga del vehículo. El peso del vehículo es de 2620kg, el cual incluye el peso del chasis y motor del vehículo, estructura fija y tres ocupantes en la cabina. La distribución de carga en función de los ejes es:

- Eje delantero: 57,24% → 1499,7 kg
- Eje trasero: 42,76% → 1120,3 kg

La carga añadida que supone el diseño es de 549kg debido a estructuras móviles, mobiliario, etc. y 250kg debido a depósitos, equipajes, etc. Por lo que, la carga añadida es de 800kg aproximadamente.

Este peso se ha considerado como una carga distribuida a lo largo de la caja-vivienda, por lo que este peso se distribuirá entre los dos ejes, siendo:

a) Eje Delantero:

$$R_a = (800(2250 - 1930)) / 3600 = 71,1 \text{ kg}$$

b) Eje Trasero:

$$R_b = (800(2250 + 1030)) / 3600 = 729 \text{ kg}$$

El nuevo reparto de cargas en los ejes es de:

a) Eje delantero: $1499,7 + 71,1 = 1570,8 \text{ kg}$

b) Eje Trasero: $1120,3 + 729 = 1849,3 \text{ kg}$

Esto demuestra que el diseño de la caja-vivienda es viable técnicamente, debido a que no se supera ninguna limitación del vehículo.

	Vehículo base	Vehículo vivienda	M.M.A
Eje delantero (kg)	1499,7	1570	1950
Eje trasero (kg)	1120,3	1849,3	2000

Tabla 6. 6: Reparto de cargas de los ejes.

Para comprobar si este reparto de pesos es válido para el vehículo se ha utilizado el programa informático *PRAXIS* con el cual se han hallado las taras actuales del vehículo:



Figura 6. 26: Taras del vehículo

Las nuevas taras del vehículo serían:[41]

- Eje delantero: 1564 kg
- Eje trasero: 1604 kg

6.6.4 Capacidad de giro

Con el mismo software PRAXIS se ha calculado el radio de giro del vehículo:

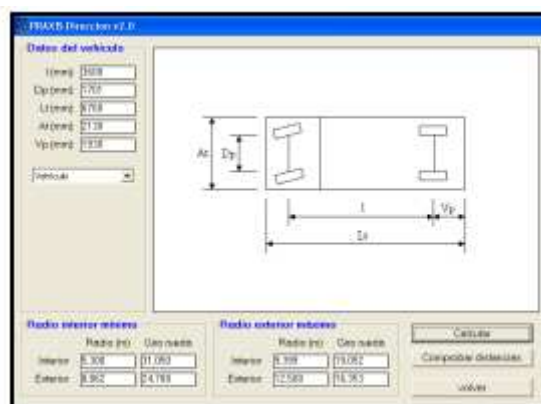


Figura 6. 27: Radios de giro del vehículo

Como se puede ver en la figura 6.28 las dimensiones del vehículo están en orden con la norma.[41]

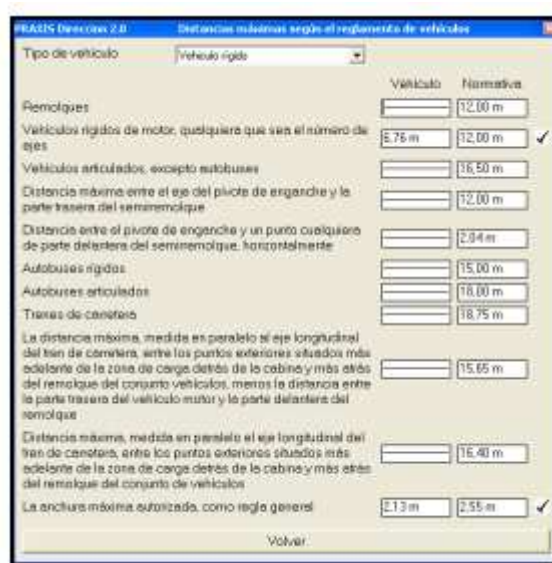


Figura 6. 28: Distancias máximas según el reglamento de vehículos

6.6.5 Conclusiones

Una vez realizado el estudio de viabilidad del diseño:

- Los perfiles de vigas utilizados son válidos para la fabricación de la caja-vivienda.
- El análisis del semipórtico presenta un error de simulación solventado con el análisis del pórtico completo.
- El análisis del pórtico completo es válido debido a los resultados obtenidos.
- El análisis de la estructura completa es válido, los resultados obtenidos en comparación con el pórtico completo son del mismo orden de magnitud.

- El diseño de la caja-vivienda es válido para proceder a la siguiente fase de análisis específico de cada uno de los elementos que constituyen la caja-vivienda.
- La instalación de la caja-vivienda en el vehículo NISSAN L-35.09 no afecta a la M.M.A. admisible del vehículo, establecida en 3.500kg.
- El efecto de la caja-vivienda sobre el chasis del vehículo no supone ningún riesgo para la integridad mecánica del vehículo.
- Las características de maniobralidad del vehículo no se ven afectadas por el diseño, siendo estas semejantes a las existentes inicialmente y en cumplimiento con la normativa.

7.- IMPACTO MEDIOAMBIENTAL

7 ESTUDIO DEL IMPACTO MEDIOAMBIENTAL

Se trata de un estudio en el que se describen los diversos impactos medioambientales que se han planificado para las diferentes fases del proyecto. Hay que indicar que el alcance del presente proyecto está limitado a la fase de concepción.

A. FASE DE CONCEPCIÓN DEL PROYECTO:

En ella se ha planteado el diseño de un vehículo-vivienda robusto y versátil, de fácil montaje y desmontaje. Se han minimizado las uniones soldadas para contribuir así a la adaptación ante nuevos componentes mecánicos del prototipo. Se estudia la toxicidad de los materiales, tanto de los que conforman la estructura como de las piezas a transportar, y en todos los casos es negativa.

No se contemplan emisiones de gases de productos nocivos (CO_2 , CO, hidrocarburos) o cualquier otro tipo de contaminación durante esta fase. Se asegura la correcta elección de los materiales a utilizar en la construcción del robot. Se minimizan las vibraciones y con ello la posibilidad de generar contaminación acústica, mediante la utilización de suspensión de tipo metálico.

B. FASE DE CONSTRUCCIÓN DEL PROYECTO:

No se utilizarán materiales contaminantes para la ejecución y ensamblaje del vehículo-vivienda, ni se utilizará maquinaria que dañe la salud del entorno. Las tareas donde el ruido supere niveles cercanos a los peligrosos para las personas que trabajan en el mismo entorno, serán realizadas en una zona correctamente aislada mediante mamparas aislantes de ruido, según la norma UNE-EN ISO 11200: Acústica. Ruidos en máquinas y equipos.

C. FASE DE EXPLOTACIÓN:

En las operaciones de reengrase, para la recogida del aceite de los componentes mecánicos, se colocará una cubeta de chapa de acero debajo del elemento, con el fin de no derramar el aceite en el suelo. La plataforma, compuesta de fibra de vidrio, puede soltar polvo de fibra sobre el suelo y los elementos que la rodean. Se deberán recoger dichos sedimentos cada cierto tiempo, con la precaución de no soltar polvo con sistema de aire (peligroso para los ojos), sino recoger con una máquina aspiradora. Los residuos serán tratados cumpliendo la normativa vigente.

Durante la realización de ensayos, no se contemplan emisiones a la atmósfera ni efectos de ruidos y olores contra las personas del entorno.

D. FASE DE DESMANTELAMIENTO:

En caso de desmantelar la estructura móvil, sus módulos o componentes podrán ser adaptados a futuros diseños (por ejemplo, la estructura principal, motores eléctricos, amortiguación, etc.) con lo que se reduce la generación de residuos.

8.- SEGURIDAD Y SALUD

8 ESTUDIO DE SEGURIDAD Y SALUD

El presente estudio de Seguridad y Salud establece las directrices en materia de prevención de riesgos a seguir durante la ejecución de las Reformas de Importancia realizadas sobre este vehículo-vivienda objeto de Estudio Técnico.

Se desarrollan las previsiones respecto a la prevención de riesgos de accidentes y enfermedades profesionales. La definición de los riesgos evitables y las medidas técnicas aplicables para ello, los riesgos no eliminables y las medidas preventivas y protecciones a utilizar.

Se dan unas directrices básicas para los talleres que realizan las Reforma de Importancia, para llevar a cabo sus obligaciones en el campo de la prevención de riesgos profesionales. Todo ello en aplicación del Real Decreto 1627/97.

8.1 RIESGOS GENERALES

8.1.1 RIESGOS DETECTABLES

A. NAVE-TALLER

- Polvo, ruidos, humos
- Atropellos por vehículos
- Salpicaduras por soldadura ú otros elementos

B. CARPINTERÍA DE MADERA, METÁLICA Y MONTAJE DE VIDRIOS EN ESTRUCTURA

- Caída al mismo nivel
- Caída a distinto nivel
- Contusiones o erosiones en manipulación de objetos o herramientas
- Cortes por manejo de maquinas-herramientas manuales
- Atropamiento por limitación de gálibo
- Caídas de objetos
- Heridas causadas por objetos punzantes
- Sobreesfuerzos
- Cortes en manos, brazos o pies durante las operaciones de transporte y ubicación manual

8.1.2 NORMAS O MEDIDAS PREVENTIVAS

- Los acopios de carpintería de madera se ubicarán en los lugares definidos en los planos, para evitar accidentes por interferencias.

- En todo momento los tajos se mantendrán libres de cascotes, recortes, metálicos y demás objetos punzantes, para evitar los accidentes por pisadas sobre objetos.
- Las zonas de trabajo tendrán una iluminación mínima de 100 lux a una altura de 2 m aproximadamente.
- Antes de la utilización de cualquier máquina-herramienta se comprobará que se encuentra en las condiciones adecuadas y con todos los mecanismos y protectores de seguridad instalados en buen estado, para evitar accidentes.
- La iluminación mediante portátiles se hará mediante “portalámparas estancos con mango aislante” y rejilla de protección de bombilla, alimentados a 24 V.
- Las escaleras a utilizar serán de tipo tijera, dotadas de zapatas antideslizantes y de cadenilla limitadora de apertura.
- Las operaciones de lijado mediante lijadora eléctrica manual, se ejecutarán siempre bajo ventilación por corriente de aire, para evitar los accidentes por trabajar en el interior de atmósferas nocivas.
- El almacén de colas y barnices poseerá ventilación directa y constante, un extintor de polvo químico seco junto a la puerta de acceso y sobre ésta una señal de “peligro de incendio” y otra de “prohibido fumar” para evitar posibles incendios.
- Se prohíbe utilizar a modo de apoyo, los bidones, cajas o pilas de material, para evitar los trabajos realizados sobre superficies inestables.

8.2 RIESGOS ELÉCTRICOS

8.2.1 RIESGOS DETECTABLES

- Electrocución por contactos directos e indirectos
- Trabajos con tensión
- Intentar trabajar sin tensión pero sin asegurarse de que los circuitos están interrumpidos ó que no se pueden reconectar
- Mal funcionamiento de mecanismos y sistemas de protección
- Uso de equipos inadecuados ó deteriorados
- Mal comportamiento ó incorrecta instalación del sistema de protección contra contactos eléctricos indirectos en general y de tomas de tierra en particular

8.2.2 NORMAS Y MEDIDAS PREVENTIVAS

- La iluminación mediante portátiles se hará mediante “portalámparas estancos con mango aislante” y rejilla de protección de bombilla, alimentados a 24 V
- Se prohíbe la conexión de cables eléctricos a los cuadros de alimentación sin la utilización de las clavijas macho-hembra
- Se prohíbe expresamente la anulación de toma de tierra de las máquinas herramientas. Se instalará en cada una de ellas una pegatina en tal sentido, si no están dotadas de doble aislamiento
- Todas las máquinas con alimentación a base de energía eléctrica, estarán dotadas de toma de tierra

8.3 PREVENCIÓN DE RIESGOS

A. PROTECCIÓN INDIVIDUAL

- Extintores para almacenes, zonas con combustibles, etc.
- Extractores en zonas donde se generen humos
- Interruptores diferenciales en cuadros y máquinas eléctricas
- Válvulas antirretroceso para equipos de soldadura oxiacetilénica
- Botiquín de primeros auxilios, conteniendo el material y productos especificados en la Ordenanza General de seguridad e Higiene en el trabajo
- Información sobre el Centro Médico a acudir en el supuesto de traslados de un accidentado
- Señalizar los movimientos de vehículos de acuerdo con las Normas de Seguridad Vial

B. PROTECCIONES COLECTIVAS

- Extintores para almacenes, zonas con combustibles, etc.
 - Extractores en zonas donde se generen humos
 - Interruptores diferenciales en cuadros y máquinas eléctricas
-

- Válvulas antirretroceso para equipos de soldadura oxiacetilénica
- Botiquín de primeros auxilios, conteniendo el material y productos especificados en la Ordenanza General de seguridad e Higiene en el trabajo
- Información sobre el Centro Médico a acudir en el supuesto de traslados de un accidentado
- Señalizar los movimientos de vehículos de acuerdo con las Normas de Seguridad Vial

9.- ESTUDIO ECONÓMICO

9 Estudio Económico

En el presente capítulo se expone la valoración económica del vehículo-vivienda basado en el diseño y desarrollo del proyecto. Incluye, por tanto, los costes de ingeniería relacionados con el diseño, así como el de todos los componentes necesarios para su correcto funcionamiento.

Los presupuestos están basados en la hipótesis de fabricación de un único prototipo. Cabe de esperar, por tanto, un coste de pieza diseñada elevado y una inversión en maquinaria específica nula, aunque habrá que tener en cuenta el coste de utilización de ciertas máquinas, únicamente calculado a partir del tiempo que dichas máquinas se emplearían.

Todos los costes se han desglosado según sean directos e indirectos como se muestra en la tabla 9.1.

Costes Directos	Adquisición de los elementos comerciales
	Fabricación propia y subcontratación de los componentes de diseño
	Costes de ingeniería y montaje
Costes Indirectos	Consumo eléctrico
	Servicios administrativos y de compras

Tabla 9. 1: Resumen desglose de costes

9.1 Costes directos

Se debe tener en cuenta que todos los importes totales y parciales incluyen el impuesto sobre el valor añadido (I.V.A.) Los portes de todos los elementos necesarios se incluirán como un coste directo incluido en el apartado a).

Todos los elementos presupuestados en el presente apartado son elementos estándar. No se ha incluido la manipulación, corte, montaje, etc. de los mismo debido a que se hará de forma autónoma por el propietario con el soporte necesario de los talleres correspondientes.

a) Adquisición de los elementos comerciales

En este apartado se consideran los costes referentes a elementos adquiridos específicamente para el desarrollo del vehículo vivienda, aquellos de marca específica seleccionados por catálogo y adquiridos al fabricante o a través de un proveedor.

Se ha incluido en este apartado los costes del mobiliario específico necesario, así como elementos necesarios para poder habitar cómodamente este vehículo vivienda. Con estas estimaciones se pretende realizar un presupuesto real, con el que poder realizar el estudio económico de la forma más fiable posible.

Debido a que el desarrollo del presente proyecto se lleva a cabo como primera aproximación, donde principalmente se realiza el desarrollo de un prototipo, se carece

de maquinaria de fabricación en serie y de grandes prestaciones. Desde la fase de diseño se ha intentado que la mayor parte de las piezas y utillaje necesario sean estándar. Por ello, se ha contactado con varias empresas y tras evaluar las ofertas recibidas, se optó por la siguiente partida presupuestaria.

La tabla 9.2 muestra el coste de adquisición que supone el sistema de desplazamiento lateral de las estructuras móviles. En este coste de adquisición se ha incluido la batería de semitracción que se utilizará para el sistema eléctrico autónomo de la caja-vivienda,

<i>Marca / Proveedor</i>	<i>Modelo</i>	<i>Descripción</i>	<i>Coste unitario</i>	<i>Cant.</i>	<i>Total</i>
ZIMM	MSZ-5-A	Motor de rotación del husillo R 5 kN Presión	500	4	2.000,00 €
INA	*	Rodamientos INA			
mk	LZR 2004-38.14	Accionamiento axial (tornillo sin-fin)			
mk	Tr 16x4	Husillo de rosca trapecial			
Osiswitch®	XCK MR	Interruptores de posición (<i>Bumpers</i>)			
Varta	E33t 12V	Batería semitracción	159	2	318,00 €
*	*	Pulsadores	6,34	2	12,68 €
TOTAL					2.331 €

Tabla 9. 2: Presupuesto sistema de desplazamiento lateral

La tabla 9.3 muestra el coste de adquisición de los elementos estructurales necesarios para la fabricación de la estructura fija. Para la fabricación de este diseño se dispone de veinte metros del *Perfil de Caja 60x60 Aluminio 6005 T6* a coste cero, esto se debe a que se dispone de dicho material procedente de otra obra previa. De dicho perfil se hará uso de 6,5 metros. A pesar de disponer de este material se ha optado por incluirlo como coste de adquisición.

ESTRUCTURA FIJA					
<i>Descripción</i>	<i>Cant.</i>	<i>Metros</i>	<i>Cant. Total</i>	<i>€/m</i>	<i>Total</i>
Perfil de Caja 50x50 Aluminio 6005 T6	6	2	12	10,38	124,56 €
Perfil de Caja 50x50 Aluminio 6005 T6	8	1	8	10,38	83,04 €
Perfil de Caja 60x60 Aluminio 6005 T6	7	2	14	10,9	152,60 €
Perfil IPN (60x60) AA 6262	1	2	2	8,38	16,76 €
Perfil IPN (60x60) AA 6262	1	4,5	4,5	9,12	41,04 €
Perfil U (60x60) AA 6262	2	2	4	9,12	36,48 €
Plancha fibra vidrio e=10mm (estructura sandwich)	24	2	48	5,15	247,20 €
TOTAL					701,68 €

Tabla 9. 3: Presupuesto de adquisición de componentes estructura fija.

La tabla 9.4 muestra el coste de adquisición de los elementos estructurales necesarios para la fabricación de la estructura móvil. Para la fabricación de este diseño se dispone de veinte metros del *Perfil de Caja 60x60 Aluminio 6005 T6* a coste cero, esto se debe a que se dispone de dicho material procedente de otra obra previa. De dicho perfil se hará

uso de 12 metros. A pesar de disponer de este material se ha optado por incluirlo como coste de adquisición.

ESTRUCTURA MÓVIL					
Descripción	Cant.	Metros	Cant. Total	€/m	Total
Perfil modular Aluminio 6005 T6 Id. B85.00.020	4	1	4	12,36	49,44 €
Perfil de Caja 50x50 Aluminio 6005 T6	4	4,5	18	10,38	186,84 €
Perfil de Caja 50x50 Aluminio 6005 T6	10	1	10	10,38	103,80 €
Perfil de Caja 60x60 Aluminio 6005 T6	12	1	12	10,9	130,80 €
Perfil U (50x25) AA 6262	4	1	4	8,64	34,56 €
Perfil Caja (10x10) AA 6262	10	4,5	45	2,56	115,20 €
Perfil Caja (10x10) AA 6262	24	1	24	2,56	61,44 €
Plancha fibra vidrio e=10mm (estructura sandwich)	24	2	48	5,15	247,20 €
TOTAL					929,28 €

Tabla 9. 4: Presupuesto de adquisición de componentes estructuras móviles.

La tabla 9.5 muestra el coste de adquisición de otros elementos necesarios para la fabricación de la caja-vivienda. Algunos de estos elementos no son estándar, por lo que se fabrican en talleres de forma autónoma con el soporte necesario. Por este motivo, el coste de estos elementos es una estimación al alza.

Descripción	Cant.	€/unida	Total
Plancha Aluminio (2500x2000x1,5)	8	63,79	510,32 €
Biela 700mm	2	23	46,00 €
Soporte bielas	2	51	102,00 €
Soportes apoyos	4	16	64,00 €
Material aislante (600x900) + Revestimiento interior	35	10	350,00 €
Material aislante techo	2	35	70,00 €
Ejes estructura móvil (2m)	4	9,86	39,44 €
Eje soporte bielas (50mm)	8	0,56	4,48 €
Soporte motores	4	31,96	127,84 €
TOTAL			1.314,08 €

Tabla 9. 5: Presupuesto de adquisición de otros elementos necesarios

La tabla 9.6 muestra la partida presupuestaria de los elementos necesarios para el acondicionamiento interior. Los elementos presupuestados es una de las innumerables combinaciones posibles. Los muebles a instalar se obtienen de la empresa “Muebles Torsan S.L.” a precio de fábrica.

<i>Descripción</i>	<i>Cant.</i>	<i>€/unida</i>	<i>Total</i>
Asiento /cama 2 plazas con maletero. Incluye tapizado completo	1	279,00 €	279,00 €
Altito lateral izquierdo sobre módulo cocina (1350 x 220 x 630 mm)	4	63,00 €	252,00 €
Módulo cajonera/ puerta (750x350x650)	3	89,90 €	269,70 €
Armario ropero/cajonera lateral	2	208,00 €	416,00 €
Depósito agua 70 ltr aprox., bocana llenado y bomba presión.	1	590,00 €	590,00 €
Depósito agua residual 60 ltr aprox. instalación exterior	1	437,00 €	437,00 €
Centralita niveles para baterías y depósitos de agua	1	395,00 €	395,00 €
Rejillas de aireación metálica con mosquitera para ventanas (2 unid)	2	85,00 €	170,00 €
Rejilla ventana lateral metálica AIRVENT con mosquitera (3 unid)	3	50,00 €	150,00 €
Instalación eléctrica 12 v: 2 fluorescentes de 8 w y 1 enchufe interior 12v	1	378,00 €	378,00 €
Módulo cocina: incluye cocina 2 f., fregadero inox., frigo 60 ltr 12/220/gas, grifería, etc.	1	1.865,00 €	1.865,00 €
Mesa corredera y desmontable con pie abatible	1	149,00 €	149,00 €
Batería auxiliar 70 A con relé separador automático de carga	1	335,00 €	335,00 €
Calentador de agua Elgena 12v 6 ltr	1	435,00 €	435,00 €
Grifo ducha exterior	1	56,00 €	56,00 €
Caja interruptores	1	63,00 €	63,00 €
Menaje	1	430,00 €	430,00 €
Puerta lateral	1	112,00 €	112,00 €
TOTAL			6.781,70 €

Tabla 9. 6: Presupuesto de adquisición de componentes para acondicionamiento interior

b) Fabricación propia y subcontratada de los componentes de diseño

Gran parte del equipo utilizado para este proyecto (PC, herramientas, etc.), ha sido prestado por *Airbus Operations S.L.* Por lo que no se han considerado el coste de las licencias necesarias. Tampoco se ha considerado el computo de horas dedicadas al presente proyecto. Se ha realizado una estimación del coste de utilización de los medios técnicos.

<i>Descripción</i>	<i>Coste (€/hora)</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Total</i>
Herramientas eléctricas (taladro, sierra, etc.)	5	100	500,00 €
Instrumentación, equipos de soldadura, etc.	0,7	200	140,00 €
PC	0,17	750	127,50 €
Impresora inyección de tinta	0,5	3	1,50 €
TOTAL			769,00 €

Tabla 9. 7: Presupuesto de adquisición de componentes estructuras móviles.

c) Costes de ingeniería y montaje

En este apartado se contabilizan los costes relacionados con las horas invertidas en la fabricación y montaje de la caja vivienda. Los costes de desarrollo se han considerado nulos, debido a que se han realizado de forma autónoma utilizando el tiempo libre y disponibilidad. En el caso de que en un futuro se pretenda realizar la fabricación en serie de este producto, se deberá considerar el coste horario de los participantes en el desarrollo definitivo del diseño.

La tabla 9.8 muestra la partida presupuestaria procedente del soporte técnico. Se ha estimado el personal externo y las horas de soporte necesarias para la fabricación y montaje de la caja-vivienda.

<i>Descripción</i>	<i>Personal implicado</i>	<i>Coste (€/h)</i>	<i>Horas (h)</i>	<i>Total (€)</i>
Fabricación propia de componentes mecánicos	2	12,5	20	500,00 €
Fabricación propia otros elementos	2	12,5	30	750,00 €
Soporte técnico	2	12,5	30	750,00 €
Montaje y puesta a punto	2	12	50	1.200,00 €
TOTAL				3.200,00 €

Tabla 9. 8: Partida presupuestaria de soporte técnico

La tabla 9.9 muestra la partida presupuestaria procedente de los gastos de gestión y certificados necesarios.

<i>Descripción</i>	<i>Total (€)</i>
Certificado de Taller	390,00 €
Certificado NISSAN	430,00 €
Proyecto técnico visado por el colegio Ofic. De Ing. Ind. De Madrid	420,00 €
Tramitación ITV y TASA	220,00 €
TOTAL	1.460,00 €

Tabla 9. 9: Partidas presupuestaria para certificados

Por último, se realiza un resumen (Tabla 9.10) de todos los costes directos imputados al presente proyecto, desglosándolos para una mejor visión global e indicando la parte proporcional respecto al total de los costes directos.

Descripción	Total (€)	%
<i>Presupuesto sistema de desplazamiento lateral</i>	2.331,00 €	13,3
<i>Presupuesto de adquisición de componentes estructura fija</i>	701,68 €	4,0
<i>Presupuesto de adquisición de componentes estructuras móviles</i>	929,28 €	5,3
<i>Presupuesto de adquisición de otros elementos necesarios</i>	1.314,08 €	7,5
<i>Presupuesto de adquisición de componentes para acondicionamiento interior</i>	6.781,70 €	38,8
<i>Presupuesto de adquisición de componentes estructuras móviles.</i>	769,00 €	4,4
<i>Partida presupuestaria de soporte técnico</i>	3.200,00 €	18,3
<i>Partidas presupuestaria para certificados</i>	1.460,00 €	8,3
TOTAL	17.486,74 €	100

Tabla 9. 10: Partidas presupuestaria costes directo

9.2 Costes indirectos

Se considera como costes indirectos (tabla 9.11) aquellos derivados de la realización del proyecto y que no han sido incluidos anteriormente debido a que en si mismo no forman parte del prototipo, pero son necesarios para su realización.

Descripción	Total (€)
Consumo eléctrico 0,1 €/KWh	180,00 €
Otros consumos (luz, climatización, etc.)	115,00 €
Servicios administrativos y de compras	140,00 €
Teléfono	180,00 €
TOTAL	615,00 €

Tabla 9. 11: Partidas presupuestaria costes indirecto

9.3 Coste total del prototipo

El resultado de la suma de los costes directo e indirectos generados por el presente proyecto, se muestra en la tabla 9.12.

Descripción	Total (€)
<i>Costes Directos</i>	17.486,74 €
<i>Costes Indirectos</i>	615,00 €
TOTAL	18.101,74 €

Tabla 9. 12: Partidas presupuestaria costes totales del proyecto

9.4 Conclusiones

Una vez realizado el coste que supondría el diseño y teniendo en cuenta que se dispone de un vehículo apto para instalar la caja-vivienda a coste cero, Económicamente este proyecto es viable. No obstante se va a realizar una comparativa entre varias opciones posibles.

La tabla 9.13 ofrece una comparativa entre una autocaravana de segunda mano y el diseño de la caja-vivienda montado en un vehículo de las mismas características. El objetivo de esta comparativa es el de realizar una estimación de viabilidad económica frente al mercado de autocaravanas.

	Autocaravana	Caja-vivienda	Vehículo + Caja Vivienda
PLAZAS CARRETERA:	5	3	3
PLAZAS DORMIR:	4 + 1	12 + 1	12 + 1
ANCHURA INTERIOR:	1900	3500	3500
LONGITUD INTERIOR:	2700	4500	4500
PLANTAS:	1	2	2
SUPERFICIE HABITABLE:	5,13	31,5	31,5
DIRECCIÓN ASISTIDA:	SI	SI	SI
CIERRE CENTRALIZADO:	SI	SI	SI
ELEVACIONES ELÉCTRICAS:	SI	SI	SI
MICROONDAS:	SI	SI	SI
BOILER:	SI	SI	SI
WC QUÍMICO:	De Serie	SI	SI
AA EN CABINA:	SI	SI	SI
FRIGORÍFICO:	80 lts.	100 lts	100 lts
CAPACIDAD BOMBONAS:	2	2	2
Nº FUEGOS EN COCINA:	3	4	4
DEPOSITO AGUAS LIMPIAS:	90 lts.	120 lts	120 lts
DEPOSITO AGUAS RESIDUALES:	90 lts.	100 lts	100 lts
CALEFACCIÓN:	- - -	Adaptable	Adaptable
AGUA CALIENTE:	SI	SI	SI
DUCHA SEPARADA:	NO	SI	SI
CAMPANA:	NO	SI	SI
HORNO:	NO	SI	SI
TOLDO:	SI	SI	SI
PRECIO vehículo BASE:	0,00 €	0,00 €	10.000,00 €
PRECIO:	24.000,00 €	18.101,00 €	28.101,00 €

Tabla 9. 13: Comparativa autocaravana Ocasión-Vehículo vivienda

Como se puede observar en la tabla 9.13 comparando una autocaravana con características semejantes en la cabeza tractora a la disponible, es más rentable instalar la caja vivienda en el vehículo NISSAN ECO L-35.09.

Comparando una autocaravana de ocasión media con un vehículo base de ocasión sobre el que instalar la caja vivienda, el coste de adquisición es más elevado en este último. A pesar de esto, la adquisición de un vehículo de ocasión e instalar sobre él la caja-vivienda es más rentable por la capacidad y prestaciones que ofrece el diseño.

Cabe destacar que en el caso de adquirir un vehículo nuevo al que instalar la caja-vivienda. En el caso de que el vehículo disponga de caja de carga, siempre puede ser vendida y/o reutilizada. Esto no proporcionará beneficios pero reducirá el coste de adquisición.

Una vez realizado este estudio, se realiza un estudio semejante pero con vehículos nuevos. La tabla 9.14 muestra las principales características de ambas opciones.

	Autocaravana	Vehículo + Caja Vivienda
PLAZAS CARRETERA:	5	3
PLAZAS DORMIR:	6	12 + 1
ANCHURA INTERIOR:	2330	3500
LONGITUD INTERIOR:	4300	4500
PLANTAS:	1	2
SUPERFICIE HABITABLE:	10,02	31,5
DIRECCIÓN ASISTIDA:	SI	SI
CIERRE CENTRALIZADO:	SI	SI
ELEVACIONES ELÉCTRICAS:	SI	SI
MICROONDAS:	NO	SI
BOILER:	SI	SI
WC QUÍMICO:	De Serie	SI
AA EN CABINA:	SI	SI
FRIGORÍFICO:	80 lts.	100 lts
CAPACIDAD BOMBONAS:	2	2
Nº FUEGOS EN COCINA:	3	4
DEPOSITO AGUAS LIMPIAS:	90 lts.	120 lts
DEPOSITO AGUAS RESIDUALES:	90 lts.	100 lts
CALEFACCIÓN:	---	Adaptable
AGUA CALIENTE:	SI	SI
DUCHA SEPARADA:	SI	SI
CAMPANA:	NO	SI
HORNO:	NO	SI
TOLDO:	SI	OPCIONAL
PRECIO VEHICULO BASE:	0,00 €	25.500,00 €
PRECIO:	47.890 €	43.601,00 €

Tabla 9. 14: Comparativa autocaravana Nueva-Vehículo vivienda

La autocaravana a la que se hace referencia en la tabla 9.14 es una FIAT Ducado 130CV con el acabado WEINSBERG Orbiter 591 G. Se ha optado por elegir este modelo por las siguientes razones:

- Semejantes dimensiones exteriores en circulación
- Capacidad de pasajeros elevada: hasta 6 pasajeros
- Uno de los modelos más económicos con tales prestaciones.

El vehículo base utilizado para la caja-vivienda sería un NISSAN ATLEON de 150CV. Uno de los inconvenientes que se podría presentar al elegir la cabeza de un camión es la velocidad de circulación. Esto no es obstáculo para decantarse por elegir este diseño, debido a que la DGT, con el grupo de trabajo “GT 53 Autocaravanas” definió en su guía “*La movilidad en autocaravana. Contexto y propuesta de actuación*” que la velocidad máxima a la que podían circular estos vehículo es de 80km/h. Alcanzable sin problema por cualquier vehículo de las mismas características que el NISSAN.

Una de las ventajas a tener en cuenta reside en que el diseño de la caja vivienda puede ser fabricado con diferentes cotas, permitiendo así obtener una caja-vivienda adaptable para la gran mayoría de vehículos del mercado.

Como consecuencia del estudio realizado anteriormente, se considera que aplicar el diseño de la caja-vivienda a un vehículo comercial es, económicamente viable.

10.- CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

10 Conclusiones y trabajos futuros

En el presente capítulo se manifiestan las conclusiones alcanzadas tras el diseño, estudio mecánico y económico, llegando a la conclusión de que es un producto viable para su fabricación.

Con el objetivo de evolucionar y mejorar este diseño, se plantean alternativas y modificaciones que se podrían aplicar al diseño obteniendo un producto optimizado.

10.1 Conclusiones

A lo largo de este documento se ha realizado un estudio del diseño de la caja-vivienda. Como se explicó anteriormente, el objeto de este proyecto es el de diseñar y realizar el primer análisis de viabilidad de la estructura, así como la viabilidad económica del diseño.

La caja-vivienda cumple con las especificaciones requeridas al comienzo del presente proyecto. Se trata de un diseño mecánico robusto ya que se ha diseñado con unos coeficientes de seguridad altos y además, se han contrastado los resultados en el análisis de estructuras mediante la simulación por ordenador con el Método de Elementos Finitos (FEM).

El uso de CATIA V5 para el diseño y análisis de la estructura ha permitido obtener unos resultados fiables debido a su potencia de cálculo mediante el método de elementos finitos. Además se han seguido cuidadosamente las indicaciones expuestas en la normativa de reformas de importancia así como los Eurocódigos.

El estudio mediante FEM de la capacidad de la estructura mediante simplificaciones ha permitido realizar comparativa entre los resultados y observar que los datos obtenidos son fiables para considerar que la caja vivienda dispone de una estructura viable técnicamente, esto permite pasar al siguiente paso del estudio que consiste en el diseño y estudio específico de todos y cada uno de los elementos que componen la caja-vivienda.

El vehículo vivienda dispone de dos posiciones de uso que cumplen con las exigencias requeridas en el primer capítulo:

- a. Modo Vehículo: Cumple con la normativa vigente sobre circulación de vehículos automóviles.
- b. Modo Vivienda: Estructura en equilibrio estático.

Se ha obtenido un diseño capaz de proporcionar un habitáculo amplio en modo vivienda y mantener sus cotas exteriores en modo vehículo.

Se dispone de dos plantas, en las cuales:

- Planta inferior: Dispone de $15,75 \text{ m}^2$. Se situará la cocina, baño, salón, etc. Esta planta además dispone de un toldo exterior que proporciona 9 m^2 adicionales de superficie cubierta proporcionando un total de $24,75 \text{ m}^2$ de superficie habitable.

- Planta superior: Dispone de 15,75 m². Esta destinado al lugar de descanso. Dispondrá de colchones con una capacidad de diez personas.

El diseño del vehículo vivienda cumple con la condición de ampliar la superficie habitable del vehículo. Se ha conseguido aumentar la superficie cubierta en un 428%. La superficie total está compuesta por ambas plantas más la tienda que se monta con el toldo desplegable.

	m ²	%
Caja carga (Inicial)	9,45	100,0
Caja-vivienda	15,75	166,7
Caja-vivienda + tienda	24,75	261,9
TOTAL	40,5	428,6

Tabla 10. 1: Superficie habitable vehículo-vivienda

Las dos plantas están intercomunicadas interiormente mediante una trampilla en el techo de la planta inferior a la que se accede a través de una escalera de pequeñas dimensiones. La caja-vivienda está intercomunicada con la tienda exterior a través de la puerta lateral.

Este aumento de superficie se consigue con un sistema que consta de una estructura fija y dos móviles:

- Estructura Fija: Unida al chasis del vehículo. Es la base de la caja-vivienda soportando la mayor parte de las cargas, a su vez es la guía para la estructura móvil.

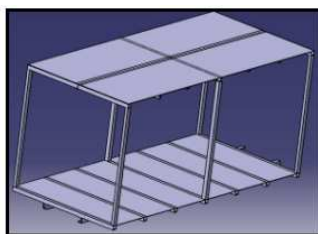


Figura 10. 1: Estructura fija

- Estructura Móvil: Estructura desplazable a través de un movimiento rectilíneo horizontal transversal (según los ejes del vehículo). Esta estructura proporciona la apertura de la planta superior. Transmite su carga directamente sobre el firme a través de unos apoyos.

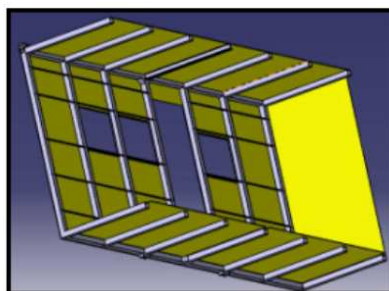


Figura 10. 2: Estructura móvil

Estructuras fabricadas en aluminio con suelo de material compuesto (estructura sándwich). Los materiales utilizados en cada una de las partes del diseño han proporcionado una estructura resistente, ligera y económicamente viable.

Los perfiles de viga utilizados en cada una de las partes de la estructura han resuelto satisfactoriamente los requisitos del diseño.

Dependiendo del material a unir, solicitudes de carga y del tipo de elemento (estructural o no) se realizará la unión de dichos componentes.

La unión será mediante soldadura y refuerzos remachados (en caso de ser necesario) entre los elementos estructurales. Se usará adhesivo *Sikaflex-221* para la unión de paneles de aluminio y estructura remachando dichos elementos para asegurar su unión. El suelo de ambas plantas se unirá a la estructura con adhesivo y remaches, utilizando soportes en los casos que así lo precise. El mobiliario será fijado de la parte trasera de los mismos al esqueleto de la estructura mediante tornillos.

El sistema utilizado para aumentar la superficie habitable es un sistema de gato mecánico compuesto por dos perfiles de caja concéntricos que albergan en su interior un tornillo sin-fín y unas guías permitiendo a las estructuras móviles desplazarse linealmente. El tornillo sin fin es movido por un motor eléctrico de 24V alimentado por baterías de semitracción. Dispondrá de dos sistemas de este tipo por lateral.

La planta superior se cubre mediante un tejado a dos aguas de material aislante e impermeable. Cada uno de los laterales del tejado se abre impulsado por el desplazamiento lineal de la estructura móvil, por lo que no precisas de ningún sistema de tracción adicional para su apertura. La unión entre ambos laterales del tejado a dos aguas que conforman el techo se realiza mediante un cierre elástico que aísla e impermeabiliza la planta superior.

El sistema de apertura funciona de la siguiente manera. Una vez estacionado el vehículo en un lugar adecuado, mediante la botonera se activa el sistema de apertura. El botón START permitirá que pase corriente de la batería de semitracción al motor, este hará girar el tornillo sin-fín alojado en el interior de los dos perfiles. El tornillo sin-fín gira proporcionando a la estructura móvil derecha un movimiento lineal transversal. Una vez que la estructura móvil derecha alcanza la posición correcta se nivela mediante los apoyos regulables en altura.

Del mismo modo se procede para la apertura de la estructura móvil izquierda. Una vez desplazados y fijados ambos laterales, se procede al cerramiento de los laterales de la planta superior. Estos laterales son de un material semejante al utilizado en las tiendas de campaña. El cerramiento se realiza mediante cremalleras.



El control del sistema de apertura es seguro ya que permite realizar todo el proceso de apertura y cierre de la caja-vivienda desde el exterior del vehículo. Asegurando de este modo la integridad física del usuario. Se utiliza una botonera de fácil manejo con un cable de 5 metros unido al cuadro de mandos del sistema de apertura.

Para un funcionamiento correcto del sistema de desplazamiento se recurre a sensores de posición mecánicos (bumpers) debido a la ubicación en la que se deben colocar. Estos sensores presentan un buen funcionamiento y bajo coste.

El peso de estructura, vehículo y carga no supera la Masa Máxima Admisible del vehículo (MMA) en el peor caso de carga considerado.

La distribución de cargas no excede el límite de carga establecido por el fabricante del vehículo en ninguno de sus ejes.

El efecto de la caja-vivienda sobre el chasis del vehículo no supone ningún riesgo para la integridad del vehículo.

Las características de maniobrabilidad del vehículo no se ven afectadas por el diseño, siendo estas semejantes a las existentes inicialmente y en cumplimiento con la normativa.

El diseño permite aprovechar al máximo la luz solar. Dispone de seis ventanas en la planta inferior que permiten aprovechar al máximo la luz solar además de rigidizar la estructura móvil mediante marcos. El techo de la planta superior permite la entrada de luz a través de dos claraboyas en ambos lados del tejado a dos aguas.

El consumo eléctrico realizado en el interior de la caja-vivienda es abastecido por baterías de semitracción y por un transformador que puede unirse a la red eléctrica.

El diseño permite tener espacio suficiente para los sistemas de abastecimiento de agua y gas disponiendo de espacio suficiente para albergar las instalaciones. Además permite instalar placas solares en el techo. *(Trabajos futuros)*.

El vehículo vivienda dispone además de dos depósitos de agua (limpia y residual) con capacidad suficiente.

Este diseño no supone ningún riesgo para la integridad física de las personas tanto en el proceso de producción como de uso.

Se ha conseguido un diseño respetuoso con el medioambiente desde la fase de concepción hasta la fase de desmantelamiento.

Este diseño es viable tanto para vehículos nuevos como usados por las prestaciones que ofrece la vivienda comparado con autocaravanas comerciales con características mecánicas semejantes en la cabeza tractora. Además supone un coste de adquisición menor.

Este diseño es aplicable para una gran variedad de vehículos comerciales, especialmente para el NISSAN ECO L-35.09 y NISSAN ATLEÓN. Una de las ventajas a tener en cuenta reside en que el diseño de la caja vivienda puede ser fabricado con diferentes cotas, permitiendo así obtener una caja-vivienda adaptable para la gran mayoría de vehículos del mercado.

10.2 Trabajos futuros

El vehículo-vivienda dispone de posibilidades de añadir elementos mecánicos y electrónicos que amplíen la utilidad de la caja vivienda. Todos estos módulos le permitirán ser más versátil, aumentar sus prestaciones e incrementar el campo de aplicación para el cual fue diseñado originalmente. A continuación se describen los posibles trabajos futuros a realizar que permitirían mejorar este primer diseño.

- Debido a la gran capacidad de la estructura diseñada, el estudio de la utilización de perfiles de menores dimensiones permitiría la fabricación de una estructura aún más ligera.
- La evolución de la industria en sistemas electrónicos y mecánicos permitiría el desarrollo de un sistema de apertura más optimizado.
- Se han desarrollado placas solares de bajo espesor y ligeras. La instalación de este tipo de placas en el techo del vehículo, permitiría un ahorro energético y mayor respeto con el medioambiente, uno de los principales propósitos de este proyecto.
- Mobiliario constituido por módulos rígidos y de bajo peso.
- Diseño de un sistema de amarre rápido y seguro del mobiliario, el cual permitiese convertir el vehículo vivienda en vehículo de carga de forma rápida, cómoda y segura.

Estas son posibles aplicaciones que pueden mejorar este producto. Se podrían especificar y enumerar muchas más, pero esto es trabajo para la imaginación y satisfacción de necesidades específicas.

Teniendo en cuenta las posibles mejoras indicadas anteriormente y con una buena gestión de recursos, técnica, marketing, comerciales, etc. y a modo de incentivo, se presentan algunas alternativas que presenta este diseño al mercado.

Este producto puede ser interesante no solo para particulares que deseen tener un vehículo de recreo como es la autocaravana, sino para:

- a) **Empresas de venta ambulante:** Permite tener en un solo vehículo, vivienda y comercio. Permitiendo al comerciante poder desplazarse a cualquier feria, mercado, etc.
- b) **Servicios de emergencias:** Permite disponer de una clínica, UVI móvil, enfermería, etc. totalmente disponible en pocos minutos.
- c) **Empresas de alquiler:** Permite tanto a empresas de alquiler de vehículos comerciales como a empresas de alquiler de autocaravanas poder diversificar su negocio, puesto que solo con montar o desmontar los módulos mobiliarios se dispone del tipo de vehículo necesario en cada momento, de este modo se rentabiliza en mayor medida el vehículo.

11.- BIBLIOGRAFÍA

11 Bibliografía

Para la realización de este proyecto se ha utilizado una gran variedad de documentación, la cual abarca desde apuntes de las asignaturas de la Universidad Carlos III hasta diversas páginas web pasando por diversos artículos, noticias, documentación y libros específicos.

A continuación se detallan algunas de las referencias más destacadas que se han utilizado para la realización de este documento. Las direcciones de Internet detalladas a continuación fueron revisadas por última vez el 19 de Noviembre de 2009.

- [1] <http://caravana-polo.iespana.es/Historia/historia.htm>
- [2] http://buscon.rae.es/draeI/SrvltConsulta?TIPO_BUS=3&LEMA=caravana
- [3] <http://www.rae.es/rae.html>
- [4] http://www.caravanas.us/vehiculos/remolques/alquiler/historia_de_la_caravana/
- [5] <http://es.wikipedia.org/wiki/Wikipedia:Portada>
- [6] http://www.dgt.es/portal/es/seguridad_vial/consejo_superior/grupos_trabajo/grupos_trabajo020.htm
- [7] http://www.google.es/search?q=historia+autocaravana&hl=es&sa=G&tbs=tl:1&tbo=u&ei=omoJS_b4EMS64QbF-fHDCw&oi=timeline_result&ct=title&resnum=11&ved=0CCYQ5wIwCg
- [8] <http://www.lavanguardia.es/lv24h/20080923/53544979980.html>
- [9] Tarjeta Inspección Técnica de Vehículos (NISSAN Nissan ECO L-35.09)
- [10] http://images.google.es/imgres?imgurl=http://caravana-polo.iespana.es/Historia/1931-Dethleff-1.jpg&imgrefurl=http://caravana-polo.iespana.es/Historia/historia.htm&usq=__E6NY8OuZ3V_CMswSty2jECrTlCU=&h=267&w=489&sz=64&hl=es&start=14&tbnid=8RliDvwfzXnjeM:&tbnh=71&tbnw=130&prev=/images%3Fq%3Dcaravana%2Btuset%26gbv%3D2%26hl%3Des%26sa%3DG
- http://images.google.es/imgres?imgurl=http://www.elprisma.com/apuntes/ingenieria_industrial/actuadoreshidraulicos/background1.jpg&imgrefurl=http://www.elprisma.com/apuntes/ingenieria_industrial/actuadoreshidraulicos/&usq=__IctzSDR-CZ79L28k8U4GBYPMHOI=&h=527&w=641&sz=32&hl=es&start=27&um=1&tbnid=__pwvzmmjnNXEIBM:&tbnh=113&tbnw=137&prev=/images%3Fq%3Dactuadores%2Bhidr%25C3%25A1ulicos%2Bdoble%2Befecto%26ndsp%3D20%26hl%3Des%26sa%3DN%26start%3D20%26um%3D1
- [11] http://www.acmclassics.com/aislante_termico-acustico.html

- [12] www.ingenieriarural.com
- [13] Tensiones y deformaciones en materiales elásticos. José Antonio González Taboada.
- [14] CTE: Código técnico de la edificación(CTE).
- [15] Sistema técnico de perfiles. Catálogo mk 2009.
www.maschinenbau-kitz.de
- [16] http://images.google.es/imgres?imgurl=http://www.esteca55.com.ar/fotos/CNC2_000.jpg&imgrefurl=http://www.taringa.net/posts/ebooks-tutoriales/2638906/Fresadora-CNC-made-in-Home---Detalle-de-Construccion.html&usq=__WtQ5lDmcTaabeTaNUkE74HYiEhA=&h=850&w=1100&sz=144&hl=es&start=277&um=1&tbnid=i8fAPSxBleZHXM:&tbnh=116&tbnw=150&prev=/images%3Fq%3Dperfil%2Baluminio%2Btornillo%2Bsin%2Bfin%26ndsp%3D20%26hl%3Des%26sa%3DN%26start%3D260%26um%3D1
- [17] <http://www.usfirst.org/>
- [18] Real Decreto 2699/1985, de 27 de diciembre
- [19] ESTRUCTURAS RETICULADAS, Prof. Carlos Navarro. Departamento de Mecánica de Medios Continuos.
- [20] www.fexa.com
- [21] www.tafibra.com
- [22] Análisis de las uniones entre elementos constructivos de MC 69
- [23] <http://www.uccat.com>
- [24] <http://www.nikaisl.com>
- [25] <http://www.mk-group.com>
- [26] Calculo para el carrozado. SCANIA CV AB 2003
- [27] Instrucciones para el carrozado. SCANIA CV AB 2003
- [28] Interruptores de posición. Catálogo Osiswitch. 2009.
- [29] www.tecnopower.es
- [30] <http://www.arquitectuba.com.ar/manuales-espanol/manual-catia-v5-r12-gratis-espanol/>
- [31] Catálogo ZIMM 2009
-

-
-
- [32] Luis Ortiz Berrocal. *Elasticidad*. Ed. McGraw-Hill 1998.
- [33] Luis Ortiz Berrocal. *Resistencia de Materiales*. Ed. McGraw-Hill 1991.
- [34] F. Aparicio Izquierdo, V. Díaz López, C. Vera. *Teoría de los vehículos automóviles*. Universidad Politécnica de Madrid 1995
- [35] Joseph E. Shigley, Larry D. Mitchell. *Diseño en Ingeniería Mecánica*. McGraw-Hill. 1985.
- [36] Manual CATIA v.5 R18. Dassault Systemes. CAT TECH IBÉRICA, S.A. 2003.
- [37] Manual Dassault Systemes
- [38] Hepco Slide Systems Limited. Catálogo 2008.
- [39] MUNGIMATIK (Maytec) Catálogo 2009.
- [40] SHUTON. Catálogo 2009.
- [41] Manual PRAXIS v.2.0. Universidad de Zaragoza 2008
- [42] Eurocódigo 3
- [43] Manual Reformas de Importancia

12.- ANEXOS

– Anexo I –

I) Mecánica de sólidos deformables

La mecánica de los sólidos deformables estudia el comportamiento de los cuerpos sólidos deformables ante diferentes tipos de situaciones como la aplicación de cargas o efectos térmicos. Estos comportamientos, más complejos que el de los sólidos rígidos, se estudian en mecánica de sólidos deformables introduciendo los conceptos de deformación y de tensión.[5]

Una aplicación típica de la mecánica de sólidos deformables es determinar a partir de una cierta geometría original de sólido y unas fuerzas aplicadas sobre el mismo, si el cuerpo cumple ciertos requisitos de resistencia y rigidez. Para resolver ese problema, en general, es necesario determinar el campo de tensiones y el campo de deformaciones del sólido. Las ecuaciones necesarias para ello son:

- **Ecuaciones de equilibrio**, que relacionan tensiones internas del sólido con las cargas aplicadas. Las ecuaciones de la estática son deducibles de las ecuaciones de equilibrio.
- **Ecuaciones constitutivas**, que relacionan tensión y deformación, y en las que pueden intervenir también otras magnitudes como temperatura, velocidad de deformación, deformaciones plásticas acumuladas, variables de endurecimiento, etc.
- **Ecuaciones de compatibilidad**, a partir de la cual pueden calcularse los desplazamientos en función de las deformaciones y las condiciones de contorno o enlace con el exterior.

A. Tipos de sólidos deformables

Los sólidos deformables difieren unos de otros en su ecuación constitutiva. Según sea la ecuación constitutiva que relaciona las magnitudes mecánicas y termodinámicas relevantes del sólido, se tiene la siguiente clasificación para el comportamiento de sólidos deformables: [5]

- **Comportamiento elástico**, se da cuando un sólido se deforma adquiriendo mayor energía potencial elástica y, por tanto, aumentando su energía interna sin que se produzcan transformaciones termodinámicas irreversibles. La característica más importante del comportamiento elástico es que es reversible.

Si se suprimen las fuerzas que provocan la deformación del sólido vuelve al estado inicial de antes de aplicación de las cargas. Dentro del comportamiento elástico hay varios subtipos:

- **Elástico lineal isótropo**, como el de la mayoría de metales no deformados en frío bajo pequeñas deformaciones.
 - **Elástico lineal no-isótropo**, la madera es material ortotrópico que es un caso particular de no-isotropía.
-
-

- **Elástico no-lineal** que, a su vez, tiene subtipos.
- **Comportamiento plástico**: aquí existe irreversibilidad, aunque se retiren las fuerzas bajo las cuales se produjeron deformaciones elásticas, el sólido no vuelve exactamente al estado termodinámico y de deformación que tenía antes de la aplicación de las mismas. A su vez los subtipos son: [5]
 - **Plástico puro**, cuando el material "fluye" libremente a partir de un cierto valor de tensión.
 - **Plástico con endurecimiento**, cuando para que el material acumule deformación plástica es necesario ir aumentando la tensión.
 - **Plástico con ablandamiento**.
- **Comportamiento viscoso** que se produce cuando la velocidad de deformación entra en la ecuación constitutiva, típicamente para deformar con mayor velocidad de deformación es necesario aplicar más tensión que para obtener la misma deformación con menor velocidad de deformación pero aplicada más tiempo. Aquí se pueden distinguir los siguientes modelos: [5]
 - **Visco-elástico**, en que las deformaciones elásticas son reversibles. Para velocidades de deformaciones arbitrariamente pequeñas este modelo tiende a un modelo de comportamiento elástico.
 - **Visco-plástico**, que incluye tanto el desfase entre tensión y deformación por efecto de la viscosidad como la posible aparición de deformaciones plásticas irreversibles.

En principio, un sólido de un material dado es susceptible de presentar varios de estos comportamientos según sea el rango de tensión y deformación que predomine. Uno u otro comportamiento dependerá de la forma concreta de la ecuación constitutiva que relaciona parámetros mecánicos importantes como la tensión, la deformación, la velocidad de deformación y la deformación plástica, junto con parámetros como las constantes elásticas, la viscosidad y parámetros termodinámicos como la temperatura o la entropía. [5]

B. Teoría de la elasticidad lineal

Para materiales que tienen un comportamiento elástico lineal, o aproximadamente lineal, para pequeñas o moderadas deformaciones. El cálculo de tensiones y deformaciones puede hacerse usando la teoría lineal de la elasticidad. Esta teoría

resuelve los problemas de mecánica de sólidos planteando un sistema de ecuaciones diferenciales en derivadas parciales. Desde el punto de vista físico los diversos subsistemas de ecuaciones que incluye esta teoría son: [5]

- **Ecuaciones de equilibrio interno.** Que relacionan las fuerzas volumétricas (b_i) con las derivadas de las tensiones (σ_{ij}) en el interior del sólido:

$$\frac{\partial \sigma_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_{xy}}{\partial y} + \frac{\partial \sigma_{xz}}{\partial z} + b_x = 0 \quad \frac{\partial \sigma_{yx}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_{yy}}{\partial y} + \frac{\partial \sigma_{yz}}{\partial z} + b_y = 0 \quad \frac{\partial \sigma_{zx}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_{zy}}{\partial y} + \frac{\partial \sigma_{zz}}{\partial z} + b_z = 0$$

- **Ecuaciones de equilibrio externo.** Que relacionan las fuerzas superficiales o fuerzas de contacto (f_i) aplicadas en la superficie del sólido con el valor de las tensiones en el contorno del sólido:

$$\sigma_{xx} n_x + \sigma_{xy} n_y + \sigma_{xz} n_z = f_x \quad \sigma_{yx} n_x + \sigma_{yy} n_y + \sigma_{yz} n_z = f_y \quad \sigma_{zx} n_x + \sigma_{zy} n_y + \sigma_{zz} n_z = f_z$$

- **Ecuaciones constitutivas o ecuaciones de Lamé-Hooke.** Son ecuaciones algebraicas y lineales que relacionan el valor de las componentes del tensor tensión con el valor del tensor deformación:

$$\begin{aligned} \varepsilon_{xx} &= \frac{1}{E} (\sigma_{xx} - \nu(\sigma_{yy} + \sigma_{zz})) & \varepsilon_{xy} &= \frac{(1+\nu)}{E} \sigma_{xy} \\ \varepsilon_{yy} &= \frac{1}{E} (\sigma_{yy} - \nu(\sigma_{xx} + \sigma_{zz})) & \varepsilon_{yz} &= \frac{(1+\nu)}{E} \sigma_{yz} \\ \varepsilon_{zz} &= \frac{1}{E} (\sigma_{zz} - \nu(\sigma_{xx} + \sigma_{yy})) & \varepsilon_{xz} &= \frac{(1+\nu)}{E} \sigma_{xz} \end{aligned}$$

- **Relación entre desplazamientos y deformaciones.** Que relacionan las componentes del tensor de deformaciones (ε_{ij}) con las componentes del vector de desplazamiento $u = (u_x, u_y, u_z)$:

$$\varepsilon_{ij} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right)$$

- **Condiciones de contorno,** que fijan el valor del desplazamiento para algunos puntos del contorno exterior, normalmente los puntos que sean puntos de unión del sólido deformable a alguna otra estructura o elemento resistente sobre el que se apoye o ancle.

C. Resistencia de materiales

Ciertos problemas sencillos de la mecánica de sólidos deformables con geometrías simples pueden tratarse mediante la resistencia de materiales clásica. En especial para el cálculo de vigas pueden plantearse ecuaciones diferenciales ordinarias en una variable

para el cálculo de tensiones y deformaciones, lo cual hace muy fácil el encontrar soluciones analíticas que aproximen las tensiones del problema real tridimensional. [5]

Además, muchos problemas que son indeterminados según el modelo de la mecánica del sólido rígido (problemas hiperestáticos), son resolubles en el modelo de sólidos deformables gracias a que se usan ecuaciones adicionales (ecuación constitutiva y ecuaciones de compatibilidad). Normalmente estas ecuaciones adicionales se escriben en términos de esfuerzos, deformaciones o desplazamientos.

Una de las principales aplicaciones de la mecánica de sólidos deformables es el cálculo de estructuras en ingeniería y arquitectura. Como campo de estudio, la mecánica de sólidos deformables forma parte de la mecánica de medios continuos.

II) Teoremas de Mohr

Los teoremas de Mohr, describen la relación entre el momento flector y las deformaciones que éste produce sobre una estructura. Los teoremas de Mohr permiten calcular deformaciones a partir del momento y viceversa. Son métodos de cálculo válidos para estructuras isostáticas e hiperestáticas regidas por un comportamiento elástico del material. [5]

Usualmente estos teoremas se conocen como Teoremas de Mohr, sin embargo fueron presentados por el matemático británico Green en 1873.

A. Primer teorema de Mohr: variaciones angulares

El ángulo que hay comprendido entre dos tangentes en dos puntos cualesquiera A y B de la curva elástica plana, es igual al área total del trozo correspondiente del diagrama de momentos reducidos:

$$\theta_B - \theta_A = \int_{x_A}^{x_B} \frac{M_f(x)}{EI_f} dx$$

Donde los ángulos deben expresarse en radianes. El teorema de Mohr dice que el giro de un punto de una elástica (la deformada) respecto de otro punto de la elástica, se puede obtener mediante el área de momentos flectores entre A y B, dividido por la rigidez a flexión "EI".

i. Deducción

Esta fórmula puede ser obtenida directamente integrando la ecuación de la curva elástica linealizada:

$$v''(x) = \frac{M_f}{EI}, \quad \Rightarrow \quad v'(x) = v'(x_A) + \int_{x_A}^x \frac{M_f(x)}{EI_f} dx$$

Teniendo en cuenta que las derivadas de la flecha transversal al eje pueden coincidir aproximadamente con los ángulos girados por la sección, la ecuación anterior nos lleva que:

$$\begin{cases} \theta_B = v'_B = v'(x_B) \\ \theta_A = v'_A = v'(x_A) \end{cases} \quad \Rightarrow \quad \theta_B - \theta_A = v'_B - v'_A = \int_{x_A}^x \frac{M_f(x)}{EI_f} dx$$

ii. Expresión no linealizada

El "primer teorema de Mohr" en realidad proporciona una expresión aproximada para pequeños desplazamientos. Si se considera la expresión completa de la elástica (no-linealizada) el primer teorema de Mohr resultaría:

$$\sin \theta_B - \sin \theta_A = \int_{x_A}^{x_B} \frac{M_f(x)}{EI_f} dx$$

Para probar esta expresión se procede igual que antes, integrando la expresión de la curva elástica, considerando esta vez la expresión completa:

$$\frac{v''(x)}{[1 + v'^2]^{\frac{3}{2}}} = \frac{M_f(x)}{EI_f} \quad \Rightarrow \quad \frac{v'(x)}{[1 + v'^2]^{\frac{1}{2}}} = \frac{v'_A}{[1 + v'^2_A]^{\frac{1}{2}}} + \int_{x_A}^x \frac{M_f(x)}{EI_f} dx$$

Teniendo en cuenta ahora que:

$$v'(x) = \tan \theta, \quad \sin \theta = \frac{\tan \theta}{\sqrt{1 + \tan^2 \theta}} = \frac{v'(x)}{[1 + v'^2]^{\frac{1}{2}}}$$

De la cual se deduce trivialmente la expresión

$$\sin \theta_B - \sin \theta_A = \int_{x_A}^{x_B} \frac{M_f(x)}{EI_f} dx$$

B. Segundo teorema de Mohr: flechas

Dados dos puntos A y B pertenecientes a una línea elástica, la ordenada de B respecto a la tangente en A es igual al momento estático con respecto a B del área de momentos reducidos comprendida entre A y B.

$$\Delta_{B|A} = - \int_{x_A}^{x_B} \frac{M_f(x)}{EI_f} (x - x_A) dx$$

El momento estático recientemente mencionado puede calcularse en forma muy simple multiplicando el área total del diagrama de momentos reducidos comprendida entre A y B por la distancia a su centro de gravedad. Por otro lado, si la figura que representa el diagrama puede descomponerse en figuras elementales tales como rectángulos, triángulos, parábolas, etc., el momento estático total resultará ser la suma de los correspondientes a cada una de las figuras elementales. [5]

i. Deducción

Existen muchas deducciones diferentes basadas en principios físicos. Sin embargo, realmente el segundo teorema de Mohr puede considerarse un caso particular del desarrollo de Taylor hasta primer orden con residuo en forma integral. Si aproximamos la flecha o desplazamiento transversal al eje de la viga mediante el teorema de Taylor obtenemos:

$$v(x) = v_A + \frac{v'_A}{1!}(x - x_A) + \int_{x_A}^x \frac{v''(t)}{1!}(x - t) dt$$

Rescribiendo las derivadas segundas en términos de la curva elástica y las derivadas primeras en términos de giros angulares:

$$v''(t) = \frac{M_f(t)}{EI_f}, \quad v'_A = \tan \theta_A \approx \theta_A$$

Se tiene que:

$$v_B = v_A + \theta_A(x_B - x_A) - \int_{x_A}^{x_B} \frac{M_f(t)}{EI_f}(t - x_B) dt$$

Interpretando geométricamente los términos se aprecia que la diferencia entre el descenso en A y el punto de corte de la tangente en B al cruzar la vertical a x_A es precisamente $\Delta_{A|B}$:

$$v_A + \theta_A(x_B - x_A) - v_B = \Delta_{A|B} = - \int_{x_B}^{x_A} \frac{M_f(t)}{EI_f}(t - x_B) dt$$

C. Aplicación

Una observación muy importante en cuanto a la aplicación de los teoremas anteriores es que cuando la elástica tiene un punto de inflexión, el diagrama de momentos reducidos cambia de signo, en ese caso cada parte del diagrama debe tratarse con su propio signo.

Los teoremas de Mohr son relativos, es decir, siempre se calcula la flecha o el giro respecto al de otro punto. Su aplicación práctica sólo es útil cuando uno de los puntos tiene un giro o flecha conocido, especialmente por sus condiciones de contorno. [5]

III) Tensión de Von Mises

El software CATIA V5 presenta los resultados del análisis de viabilidad de la estructura basándose en la tensión de Von Mises.

La tensión de Von Mises es una magnitud física proporcional a la energía de distorsión. En ingeniería estructural se usa en el contexto de las teorías de fallo como indicador de un buen diseño para materiales dúctiles. [5]

La energía de Von Mises puede calcularse fácilmente a partir de las tensiones principales del tensor tensión en un punto de un sólido deformable, mediante la expresión:

$$\sigma_{VM} = \sqrt{\frac{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2}{2}}$$

Siendo $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ las tensiones principales.

La tensión de Von Mises y el criterio de fallo elástico asociado debe su nombre a Richard Edler Von Mises (1913) quien propuso que un material dúctil sufría fallo elástico cuando la energía de distorsión elástica rebasaba cierto valor. Sin embargo, el criterio fue claramente formulado con anterioridad por Maxwell en 1865 más tarde también Huber (1904), en un artículo en polaco anticipó hasta cierto punto la teoría de fallo de Von Mises. Por todo esto a veces se llama a la teoría de fallo elástico basada en la tensión de Von Mises como teoría de Maxwell-Huber-Hencky-Von Mises y también teoría de fallo J2. [5]

A. Formulación matemática

La tensión de Von Mises es un escalar proporcional a la energía de deformación elástica de distorsión que puede expresarse en función de las componentes del tensor de tensión, en particular admite una expresión simple en función de las tensiones principales, por lo que la tensión de Von Mises puede calcularse a partir de la expresión de la energía de deformación distorsiva.

Igualmente la superficie de fluencia de un material que falla de acuerdo con la teoría de fallo elástico de Von Mises puede escribirse como el lugar geométrico de los puntos donde la tensión de Von Mises como función de las tensiones principales supera cierto valor. Matemáticamente esta ecuación puede expresarse aún como el conjunto de puntos donde el invariante cuadrático de la parte desviadora del tensor tensión supera cierto valor. [5]

i. Energía de deformación

La energía de deformación de un sólido deformable, igual al trabajo exterior de las fuerzas que provocan dicha deformación, dicho trabajo puede descomponerse, entre el trabajo invertido en cambiar la forma del cuerpo o energía de distorsión y el trabajo invertido en comprimir o dilatar el cuerpo manteniendo constantes las relaciones geométricas o energía elástica volumétrica: [5]

$$E_{def} = E_{def,V} + E_{def,dist}$$

Los dos términos vienen dados por:

$$E_{def,V} = \int_V \frac{3}{2} (\sigma_{xx} + \sigma_{yy} + \sigma_{zz})^2 \frac{1-2\nu}{E} dV = + \int_V \frac{(\sigma_{xx} + \sigma_{yy} + \sigma_{zz})^2}{2K} dV$$

$$E_{def,dist} = E_{def} - E_{def,V} = \int_V \frac{1}{6G} [\sigma_{xx}^2 + \sigma_{yy}^2 + \sigma_{zz}^2 - (\sigma_{xx}\sigma_{yy} + \sigma_{yy}\sigma_{zz} + \sigma_{zz}\sigma_{xx})] dV + \int_V \frac{1}{2G} [\tau_{xy}^2 + \tau_{yz}^2 + \tau_{zx}^2] dV$$

Frecuentemente, la energía de distorsión dada por la última expresión, se expresa en términos de una combinación especial de las otras componentes de tensión llamada tensión de Von Mises:

$$E_{def,dist} = \int_V \frac{\sigma_{VM}^2}{6G} dV$$

Igualando los integrandos de las dos últimas ecuaciones se obtiene que la tensión de Von Mises viene dada precisamente por:

$$\sigma_{VM} = \sqrt{\sigma_{xx}^2 + \sigma_{yy}^2 + \sigma_{zz}^2 - (\sigma_{xx}\sigma_{yy} + \sigma_{yy}\sigma_{zz} + \sigma_{zz}\sigma_{xx}) + 3(\tau_{xy}^2 + \tau_{yz}^2 + \tau_{zx}^2)}$$

ii. Invariante cuadrático J_2

La energía de distorsión considerada en la sección anterior puede ser calculada a partir de la parte desviadora del tensor tensión:

$$[s_{ij}] = [\sigma_{ij}] - \sigma_V [I] = \begin{bmatrix} \sigma_x - \sigma_V & \tau_{xy} & \tau_{xz} \\ \tau_{yx} & \sigma_y - \sigma_V & \tau_{yz} \\ \tau_{zx} & \tau_{zy} & \sigma_z - \sigma_V \end{bmatrix}, \quad \text{con } \sigma_V = \frac{\sigma_x + \sigma_y + \sigma_z}{3}$$

El segundo invariante cuadrático de este tensor denominado J_2 , es proporcional a la tensión de Von Mises y resulta ser:

Ecuación 1:

$$J_2 = \frac{1}{6} \left[(\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + (\sigma_x - \sigma_z)^2 + 6(\tau_{yz}^2 + \tau_{zx}^2 + \tau_{xy}^2) \right] = \frac{\sigma_{VM}^2}{3}$$

Por esta razón a veces la teoría de fallo de Von Mises se llama teoría de fallo J_2 .

B. Tensión de Von Mises y tensiones principales

Aunque la expresión (Ecuación 1) ofrece una fórmula práctica para calcular la tensión de Von Mises o equivalentemente la energía de deformación distorsiva. La expresión se simplifica mucho si usamos en cada punto las tres tensiones principales para el cálculo de la tensión de Von Mises: [5]

$$\sigma_{VM} = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2 - (\sigma_1\sigma_2 + \sigma_2\sigma_3 + \sigma_3\sigma_1)}$$

Esta expresión se puede simplificar aún más:

$$\sigma_{VM} = \sqrt{\frac{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2}{2}}$$

C. Tensión de Von Mises en una viga

Usualmente en una viga sólo 3 de las 6 componentes del tensor tensión son diferentes de cero: la tensión normal a la sección transversal y dos componentes independientes asociadas a la tensión tangencial, en ese caso las tensiones principales resultan ser:

$$\begin{cases} \sigma_1 = \frac{\sigma_x + \sqrt{\sigma_x^2 + 4(\tau_{xy}^2 + \tau_{xz}^2)}}{2} \\ \sigma_2 = 0 \\ \sigma_3 = \frac{\sigma_x - \sqrt{\sigma_x^2 + 4(\tau_{xy}^2 + \tau_{xz}^2)}}{2} \end{cases}$$

De donde se sigue que:

$$\sigma_{VM} = \sqrt{\sigma_x^2 + 3(\tau_{xy}^2 + \tau_{xz}^2)} = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2}$$

D. Tensión de Von Mises en una placa

A pesar de que el análisis del suelo de la caja vivienda no es objeto del presente documento, se simularía como una placa. Se indica la base teórica a tener en cuenta para su análisis. [5]

Usualmente en una viga sólo 3 de las 6 componentes del tensor tensión son diferentes de cero $\sigma_x, \sigma_y, \tau_{xy}$, a partir de las cuales se pueden calcular las tensiones principales $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$:

$$\begin{cases} \sigma_1 = \frac{\sigma_x + \sigma_y + \sqrt{(\sigma_x - \sigma_y)^2 + 4\tau_{xy}^2}}{2} \\ \sigma_2 = 0 \\ \sigma_3 = \frac{\sigma_x + \sigma_y - \sqrt{(\sigma_x - \sigma_y)^2 + 4\tau_{xy}^2}}{2} \end{cases}$$

De donde se sigue que la tensión de Von Mises es:

$$\sigma_{VM} = \sqrt{\sigma_x^2 - \sigma_x\sigma_y + \sigma_y^2 + 3\tau_{xy}^2}$$

IV) Teoremas de Castigliano

Los teoremas de Castigliano de resistencia de materiales se deben al ingeniero italiano Carlos Alberto Castigliano (1847-1884), que elaboró nuevos métodos de análisis para sistemas elásticos. Los dos teoremas que llevan actualmente su nombre, enunciados en 1873 y 1875 respectivamente son sus contribuciones más importantes. [5]

A. Primer teorema de Castigliano

Sea un cuerpo elástico $K \in \mathbb{R}^3$ sobre el que actúan un conjunto de fuerzas P_1, \dots, P_n aplicados sobre los puntos del sólido A_1, \dots, A_n y llamando $W(P_1, \dots, P_n)$ a la energía potencial elástica o potencial interno. Entonces el movimiento-desplazamiento o giro- δ_i del punto A_i proyectado sobre la dirección de P_i viene dada por: [5]

$$\delta_i = \frac{\partial W}{\partial P_i}$$

B. Segundo teorema de Castigliano

Sea un cuerpo elástico $K \in \mathbb{R}^3$ sobre el que actúan el conjunto de fuerzas P_1, \dots, P_n aplicados sobre los puntos del sólido A_1, \dots, A_n y llamando $W(\delta_1, \dots, \delta_n)$ a la energía potencial elástica o potencial interno donde δ_i es el movimiento-desplazamiento o giro en el punto A_i en la dirección de la fuerza P_i . Entonces la fuerza ejercida P_i en el punto A_i viene dada por:

$$P_i = \frac{\partial W}{\partial \delta_i}$$

–Anexo II-A –

PERFIL DE CAJA "60 x 60 x 5"

1.- Datos del Material

ALUMINIO	
Límite elástico (MPa)	270
Cond. Servicio (MPa)	225
Densidad (kg/m ³)	2700

Tabla II.A. 1: Datos del Material

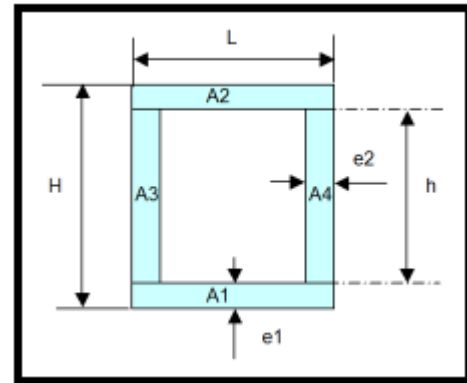


Figura II.A. 1: Perfil de Caja "60x60"

2.- Datos del perfil

	H (mm)	L (mm)	e1 (mm)	e2 (mm)	h (mm)
DIMENSIONES	60	60	5	5	50

	X (mm)	Y (mm)	H (mm)	L (mm)
A	30,0	30,0	60	60
A 1	30	2,5	5	60
A 2	30	57,5	5	60
A 3	2,5	30	50	5
A 4	57,5	30	50	5

Tabla II.A. 2: Datos del Perfil

3.-Cálculo del Área

	Área (mm ²)
A 1	300
A 2	300
A 3	250
A 4	250
A Total	1100
	11 m ²

Tabla II.A. 3: Cálculo del Área

4.- Cálculo del Centro de Gravedad

X_{cg} (mm)	30
Y_{cg} (mm)	30

*Tabla II.A. 4: Centro de Gravedad***5.- Cálculo del Momento de Inercia**

I_{x1}	625,0	0,0	625,0
I_{x2}	625,0	0,0	625,0
I_{x3}	52083,3	189062,5	241145,8
I_{x4}	52083,3	189062,5	241145,8
		I_x (mm⁴)	483541,7
		I_x (cm⁴)	48,4

I_{y1}	90000,0	226875,0	316875,0
I_{y2}	90000,0	226875,0	316875,0
I_{y3}	520,8	0,0	520,8
I_{y4}	520,8	0,0	520,8
		I_y (mm⁴)	634791,7
		I_y (cm⁴)	63,5

*Tabla II.A. 5: Momentos de Inercia***6.- Cálculo del Momento Resistente**

W₁	250,0
W₂	250,0
W₃	2083,3
W₄	2083,3
W (mm³)	4666,7
W (cm³)	4,7

	(N · mm)	(N · m)
Límite elástico	1260000	1260
Cond. Servicio	1050000	1050

*Tabla II.A. 6: Momento Resistente***7.- Masas**

	(kg/mm)	(kg/m)
Masas	0,00297	2,97

Tabla II.A. 7: Masas

PERFIL DE CAJA "50 x 50 x 3"

1.- Datos del Material

ALUMINIO	
Límite elástico (MPa)	270
Cond. Servicio (MPa)	225
Densidad (kg/m ³)	2700

Tabla II.A. 8: Datos del Material

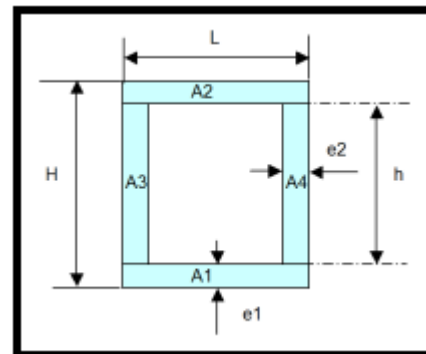


Figura II.A. 2: Perfil de Caja "50x50"

2.- Datos del perfil

	H (mm)	L (mm)	e1 (mm)	e2 (mm)	h (mm)
DIMENSIONES	50	50	3	3	44

	X (mm)	Y (mm)	H (mm)	L (mm)
A	25,0	25,0	50	50
A 1	25	1,5	3	50
A 2	25	48,5	3	50
A 3	1,5	25	44	3
A 4	48,5	25	44	3

Tabla II.A. 9: Datos del Perfil

3.-Cálculo del Área

	Área (mm ²)
A 1	150
A 2	150
A 3	132
A 4	132
A Total	564
	5,64 m ²

Tabla II.A. 10: Cálculo del Área

4.- Cálculo del Centro de Gravedad

X_{cg} (mm)	25
Y_{cg} (mm)	25

*Tabla II.A. 11: Centro de Gravedad***5.- Cálculo del Momento de Inercia**

I_{x1}	112,5	0,0	112,5
I_{x2}	112,5	0,0	112,5
I_{x3}	21296,0	72897,0	94193,0
I_{x4}	21296,0	72897,0	94193,0
I_x (mm⁴)			188611,0
I_x (cm⁴)			18,9

I_{y1}	31250,0	82837,5	114087,5
I_{y2}	31250,0	82837,5	114087,5
I_{y3}	99,0	0,0	99,0
I_{y4}	99,0	0,0	99,0
I_y (mm⁴)			228373,0
I_y (cm⁴)			22,8

*Tabla II.A. 12: Momento de Inercia***6.- Cálculo del Momento Resistente**

W₁	75,0
W₂	75,0
W₃	968,0
W₄	968,0
W (mm³)	2086,0
W (cm³)	2,1

	(N · mm)	(N · m)
Límite elástico	563220	563,22
Cond. Servicio	469350	469,35

*Tabla II.A. 13: Momento Resistente***7.- Masas**

	(kg/mm)	(kg/m)
MASA	0,0015228	1,5228

Tabla II.A. 14: Masas

–Anexo II-B –

PERFIL IPN "60 x 60 x 5"

1.- Datos del Material

ALUMINIO	
Límite elástico (MPa)	270
Cond. Servicio (MPa)	225
Densidad (kg/m ³)	2700

Tabla II.B. 1: Datos del Material

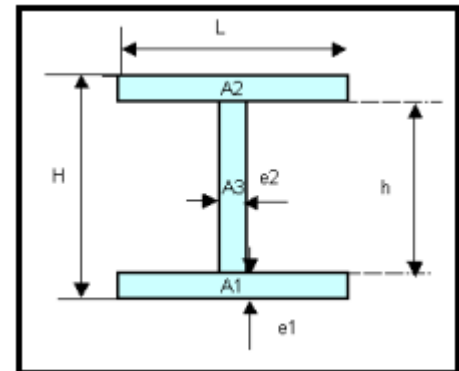


Figura II.B. 1: Perfil "IPN"

2.- Datos del perfil

	H (mm)	L (mm)	e1 (mm)	e2 (mm)	h (mm)
DIMENSIONES	60	60	5	5	50

	X (mm)	Y (mm)	H (mm)	L (mm)
A	30,0	30,0	50	50
A 1	30	2,5	5	60
A 2	30	57,5	5	60
A 3	30	30	50	5
A 4	0	0	0	0

Tabla II.B. 2: Datos del Perfil

3.-Cálculo del Área

	Área (mm ²)
A 1	300
A 2	300
A 3	250
A 4	0
A Total	850
	8,5 m ²

Tabla II.B. 3: Cálculo del Área

4.- Cálculo del Centro de Gravedad

X_{cg} (mm)	30
Y_{cg} (mm)	30

*Tabla II.B. 4: Centro de Gravedad***5.- Cálculo del Momento de Inercia**

I_{x1}	625,0	0,0	625,0
I_{x2}	625,0	0,0	625,0
I_{x3}	52083,3	0,0	52083,3
I_{x4}	0,0	0,0	0,0
I_x (mm⁴)			53333,3
I_x (cm⁴)			5,3

I_{y1}	90000,0	226875,0	316875,0
I_{y2}	90000,0	226875,0	316875,0
I_{y3}	520,8	0,0	520,8
I_{y4}	0,0	0,0	0,0
I_y (mm⁴)			634270,8
I_y (cm⁴)			63,4

*Tabla II.B. 5: Momento de Inercia***6.- Cálculo del Momento Resistente**

W₁	250,0
W₂	250,0
W₃	2083,3
W₄	0,0
W (mm³)	2583,3
W (cm³)	2,6

	(N · mm)	(N · m)
Límite elástico	697500	697,5
Cond. Servicio	581250	581,25

*Tabla II.B. 6: Momento Resistente***7.- Masas**

	(kg/mm)	(kg/m)
Masas	0,002295	2,295

Tabla II.B. 7: Masas

–Anexo II-C –

PERFIL C "50 x 25 x 3"

1.- Datos del Material

ALUMINIO	
Límite elástico (MPa)	270
Cond. Servicio (MPa)	225
Densidad (kg/m ³)	2700

Tabla II.C. 1: Datos del Material

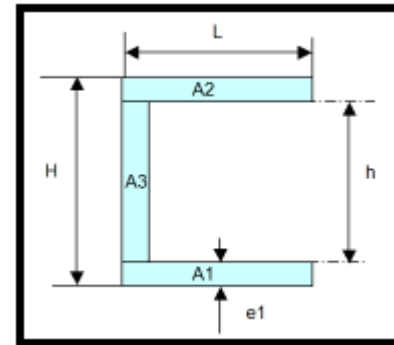


Figura II.C. 1: Perfil "C"

2.- Datos del perfil

	H (mm)	L (mm)	e1 (mm)	e2 (mm)	h (mm)
DIMENSIONES	50	25	3	3	44

	X (mm)	Y (mm)	H (mm)	L (mm)
A	7,4	25,0	50	25
A 1	12,5	1,5	3	25
A 2	12,5	48,5	3	25
A 3	1,5	25	44	3
A 4	0	0	0	0

Tabla II.C. 2: Datos del Perfil

3.-Cálculo del Área

	Área (mm ²)
A 1	75
A 2	75
A 3	132
A 4	0
A Total	282
	2,82 m ²

Tabla II.C. 3: Cálculo del Área

4.- Cálculo del Centro de Gravedad

Xcg (mm)	7,35106383
Ycg (mm)	25

Tabla II.C. 4: Centro de Gravedad

5.- Cálculo del Momento de Inercia

I_{x1}	56,3	1988,4	2044,6
I_{x2}	56,3	1988,4	2044,6
I_{x3}	21296,0	4519,0	25815,0
I_{x4}	0,0	0,0	0,0
		I_x (mm⁴)	29904,2
		I_x (cm⁴)	3,0

I_{y1}	3906,3	41418,8	45325,0
I_{y2}	3906,3	41418,8	45325,0
I_{y3}	99,0	0,0	99,0
I_{y4}	0,0	0,0	0,0
		I_y (mm⁴)	90749,0
		I_y (cm⁴)	9,1

Tabla II.C. 5: Momento de Inercia

6.- Cálculo del Momento Resistente

W₁	37,5
W₂	37,5
W₃	968,0
W₄	0,0
W (mm³)	1043,0
W (cm³)	1,0

	(N · mm)	(N · m)
Límite elástico	281610	281,61
Cond. Servicio	234675	234,675

Tabla II.C. 6: Momento Resistente

7.- Masas

	(kg/mm)	(kg/m)
Masa	0,0007614	0,7614

Tabla II.C. 7: Momentos

–Anexo II-D –

PERFIL "U" "60 x 60 x 5"

1.- Datos del Material

ALUMINIO	
Límite elástico (MPa)	270
Cond. Servicio (MPa)	225
Densidad (kg/m ³)	2700

Tabla II.D. 1: Datos del Material

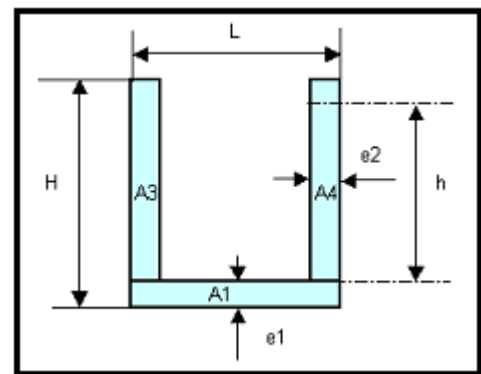


Figura II.D. 1: Perfil "U"

2.- Datos del perfil

	H (mm)	L (mm)	e1 (mm)	e2 (mm)	h (mm)
DIMENSIONES	60	60	5	5	50

	X (mm)	Y (mm)	H (mm)	L (mm)
A	30,0	19,7	60	60
A 1	30	2,5	5	60
A 2	0	0	0	0
A 3	2,5	30	50	5
A 4	57,5	30	50	5

Tabla II.D. 2: Datos del Perfil

3.-Cálculo del Área

	Área (mm ²)
A 1	300
A 2	0
A 3	250
A 4	250
A Total	800

Tabla II.D. 3: Cálculo del Área

4.- Cálculo del Centro de Gravedad

Xcg (mm)	30
Ycg (mm)	19,6875

Tabla II.D. 4: Centro de Gravedad

5.- Cálculo del Momento de Inercia

I_{x1}	625,0	0,0	625,0
I_{x2}	0,0	0,0	0,0
I_{x3}	52083,3	189062,5	241145,8
I_{x4}	52083,3	189062,5	241145,8
		I_x (mm⁴)	482916,7
		I_x (cm⁴)	48,3

I_{y1}	90000,0	88623,0	178623,0
I_{y2}	0,0	0,0	0,0
I_{y3}	520,8	26586,9	27107,7
I_{y4}	520,8	26586,9	27107,7
		I_y (mm⁴)	232838,5
		I_y (cm⁴)	23,3

Tabla II.D. 5: Momento de Inercia

6.- Cálculo del Momento Resistente

W₁	250,0
W₂	0,0
W₃	2083,3
W₄	2083,3
W (mm³)	4416,7
W (cm³)	4,4

	(N · mm)	(N · m)
Límite elástico	1192500	1192,5
Cond. Servicio	993750	993,75

Tabla II.D. 6: Momento Resistente

7.- Masas

	(kg/mm)	(kg/m)
MASA	0,00216	2,16

Tabla II.D. 7: Masas

–Anexo III-A –

Semipórtico

i. MESH:

Entity	Size
Nodes	255
Elements	754

ii. ELEMENT TYPE:

Connectivity	Statistics
TE4	754 (100,00%)

iii. Materials.1

Material	Aluminium
Young's modulus	7e+010N/m ²
Poisson's ratio	0,346
Density	2710kg/m ³
Coefficient of thermal expansion	2,36e-005_Kdeg
Yield strength	9,5e+007N/m ²

V) Static Case

i. Boundary Conditions

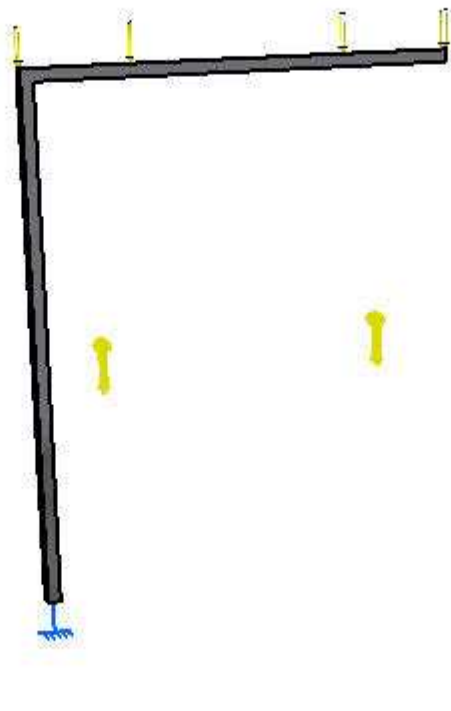


Figura III.A. 1: Semipórtico

ii. STRUCTURE Computation

Number of nodes	255
Number of elements	754
Number of D.O.F.	765
Number of Contact relations	0
Number of Kinematic relations	0

Linear tetrahedron 754

Tabla III. A. 1: Mallado

iii. RESTRAINT Computation

Name: RestraintSet.1

Number of S.P.C : 24

iv. LOAD Computation

Name: Loads.1

Applied load resultant :

F_x	=	0.000e+000	N
F_y	=	0.000e+000	N
F_z	=	-9.122e+002	N
M_x	=	9.122e+000	N·m
M_y	=	2.354e+003	N·m
M_z	=	0.000e+000	N·m

Tabla III. A. 2: Cargas

v. STRUCTURAL MASS Computation

Inercia centro coordinates

X_g	2.172e+003	mm
Y_g	-1.000e+001	mm
Z_g	1.478e+003	mm

Tabla III. A. 3: Centro coordenadas Inercia

Inertia tensor at origin: kg·m²

2.401e+001	1.986e-001	-3.135e+001
1.986e-001	6.988e+001	1.352e-001
-3.135e+001	1.352e-001	4.587e+001

Tabla III. A. 4: Tensor de Inercia

vi. STIFFNESS Computation

Number of lines	765
Number of coefficients	12906
Number of blocks	1
Maximum number of coefficients per bloc	12906
Total matrix size	0.15 Mb

*Tabla III. A. 5: Stiffness***vii. CONSTRAINT Computation**

Restraint: RestraintSet.1

Number of constraints	24
Number of coefficients	0
Number of factorized constraints	24
Number of coefficients	0
Number of deferred constraints	0

*Tabla III. A. 6: Restricciones***viii. FACTORIZED Computation**

Method	SPARSE
Number of factorized degrees	741
Number of supernodes	190
Number of overhead indices	4485
Number of coefficients	18804
Maximum front width	36
Maximum front size	666
Size of the factorized matrix (Mb)	0.143463
Number of blocks	1
Number of Mflops for factorization	6.139e-001
Number of Mflops for solve	7.892e-002
Minimum relative pivot	3.364e-005

Tabla III. A. 7: Factorización

ix. DIRECT METHOD Computation

Name: StaticSet.1

Restraint: RestraintSet.1

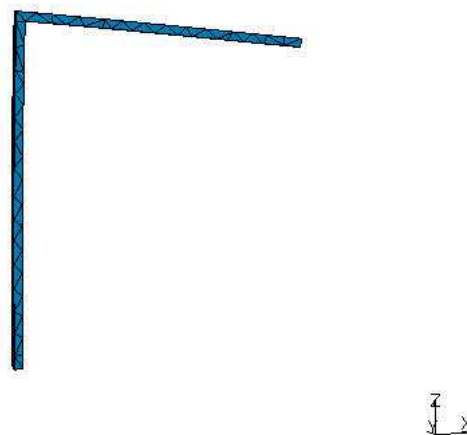
Structural mass is taken into account

Load: LoadSet.1

Strain Energy : 3.234e-001 J

Equilibrium

Components	Applied Forces	Reactions	Residual	Relative Magnitude Error
Fx (N)	0.0000e+000	-6.9578e-008	-6.9578e-008	5.1956e-012
Fy (N)	0.0000e+000	2.5072e-009	2.5072e-009	1.8722e-013
Fz (N)	-9.1219e+002	9.1219e+002	4.8188e-008	3.5983e-012
Mx (N·m)	9.1219e+000	-9.1219e+000	-7.2838e-009	1.5540e-013
My (N·m)	2.3538e+003	-2.3538e+003	-2.5016e-007	5.3373e-012
Mz (N·m)	0.0000e+000	1.3722e-008	1.3722e-008	2.9275e-013

*Tabla III. A. 8: Matriz de Cálculo***x. Static Case Solution.1 - Deformed Mesh.2***Figura III.A. 2: Deformada Semipórtico*

On deformed mesh ---- On boundary ---- Over all the model

xi. Static Case Solution.1 - Von Mises Stress (nodal values).2

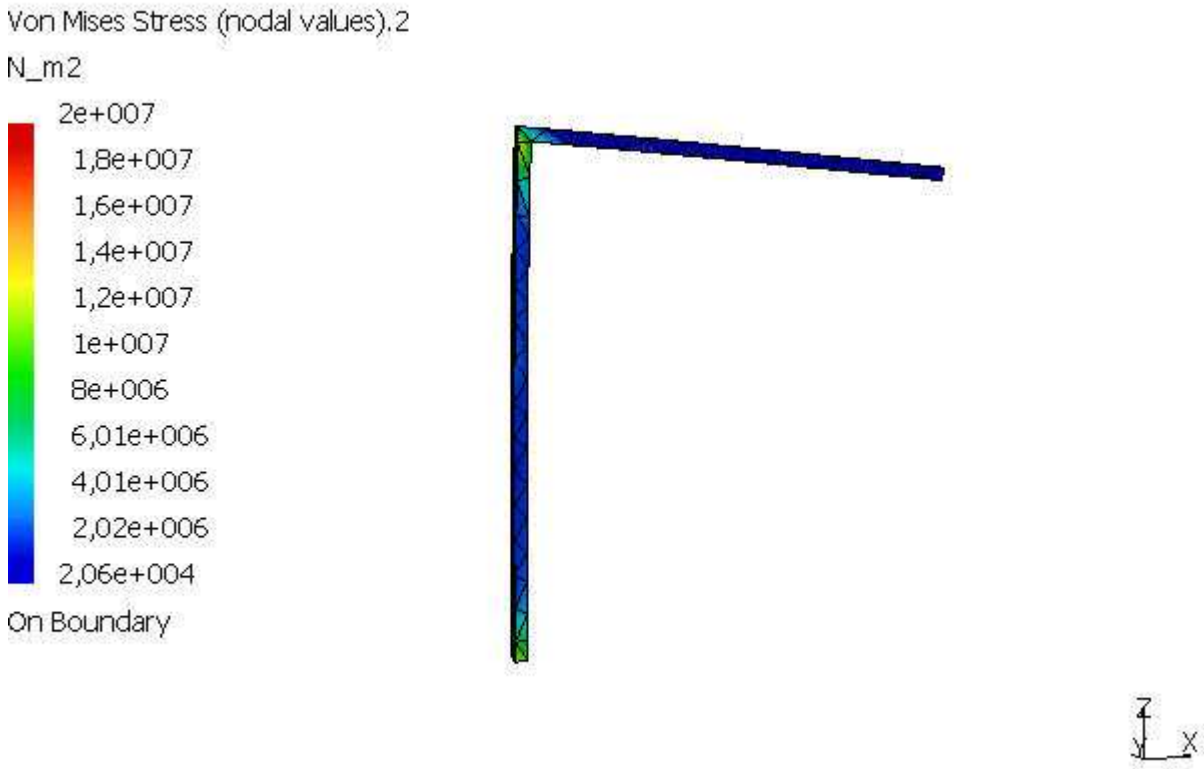


Figura III.A. 3: Von Mises Semipórtico

3D elements: : Components: : All
On deformed mesh ---- On boundary ---- Over all the model

xii. Global Sensors

Sensor Name	Sensor Value
Energy	0,323J

Tabla III. A. 9: Sensor

–Anexo III-B –

Pórtico

xiii. MESH:

Entity	Size
Nodes	315
Elements	943

xiv. ELEMENT TYPE:

Connectivity	Statistics
TE4	943 (100,00%)

xv. Materials.1

Material	Aluminium
Young's modulus	7e+010N/m ²
Poisson's ratio	0,346
Density	2710kg/m ³
Coefficient of thermal expansion	2,36e-005_Kdeg
Yield strength	9,5e+007N/m ²

VI) Static Case

i. Boundary Conditions

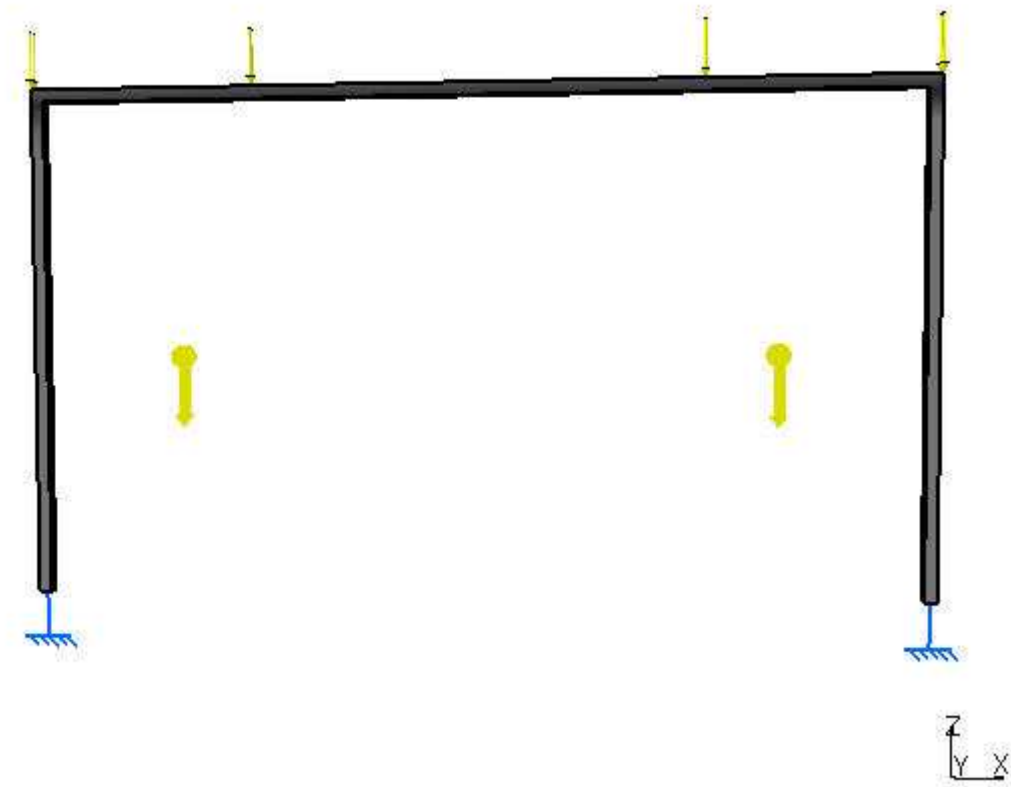


Figura III.B. 1: Pórtico

ii. STRUCTURE Computation

Number of nodes	315
Number of elements	943
Number of D.O.F.	945
Number of Contact relations	0
Number of Kinematic relations	0

Linear tetrahedron 943

Tabla III.B. 1: Mallado

iii. RESTRAINT Computation

Name: RestraintSet.1

Number of S.P.C : 48

iv. LOAD Computation

Name: Loads.1

Applied load resultant :

F_x	=	0.000e+000	N
F_y	=	0.000e+000	N
F_z	=	-1.869e+003	N
M_x	=	1.869e+001	N·m
M_y	=	-4.360e-013	N·m
M_z	=	0.000e+000	N·m

*Tabla III.B. 2: Cargas***v. STRUCTURAL MASS Computation**

Inertia center coordinates

X_g	1.140e-013	mm
Y_g	-1.000e+001	mm
Z_g	1.486e+003	mm

*Tabla III.B. 3: Centro coordenadas Inercia*Inertia tensor at origin: kg·m²

4.902e+001	-2.992e-017	-2.540e-015
-2.992e-017	8.924e+001	2.754e-001
-2.540e-015	2.754e-001	4.023e+001

Tabla III.B. 4: Tensor Inercia

vi. STIFFNESS Computation

Number of lines	945
Number of coefficients	16047
Number of blocks	1
Maximum number of coefficients per bloc	16047
Total matrix size	0.19 Mb

*Tabla III.B. 5: Stiffness***vii. CONSTRAINT Computation**

Restraint: RestraintSet.1

Number of constraints	48
Number of coefficients	0
Number of factorized constraints	48
Number of coefficients	0
Number of deferred constraints	0

*Tabla III.B. 6: Restricciones***viii. FACTORIZED Computation**

Method	SPARSE
Number of factorized degrees	897
Number of supernodes	212
Number of overhead indices	5055
Number of coefficients	23298
Maximum front width	39
Maximum front size	780
Size of the factorized matrix (Mb)	0.17775
Number of blocks	1
Number of Mflops for factorization	7.700e-001
Number of Mflops for solve	9.768e-002
Minimum relative pivot	1.470e-005

Tabla III.B. 7: Factorización

ix. DIRECT METHOD Computation

Name: StaticSet.1

Restraint: RestraintSet.1

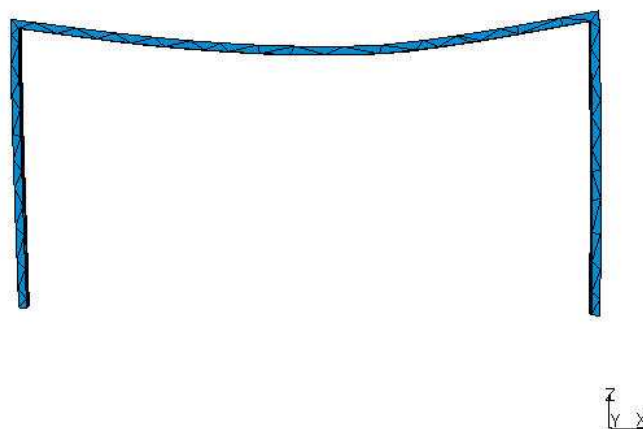
Structural mass is taken into account

Load: LoadSet.1

Strain Energy : 3.682e-002 J

Equilibrium

Components	Applied Forces	Reactions	Residual	Relative Magnitude Error
F _x (N)	0.0000e+000	8.2537e-011	8.2537e-011	4.0201e-014
F _y (N)	0.0000e+000	1.3242e-009	1.3242e-009	6.4497e-013
F _z (N)	-1.8685e+003	1.8685e+003	-2.3572e-008	1.1481e-011
M _x (N·m)	1.8685e+001	-1.8685e+001	-2.8492e-009	6.7697e-013
M _y (N·m)	-4.3604e-013	2.4948e-009	2.4944e-009	5.9266e-013
M _z (N·m)	0.0000e+000	-7.2419e-011	-7.2419e-011	1.7206e-014

*Tabla III.B. 8: Matriz de cálculo***x. Static Case Solution.1 - Deformed Mesh.1***Figura III.B. 2: Deformada*

On deformed mesh ---- On boundary ---- Over all the model

xi. Static Case Solution.1 - Von Mises Stress (nodal values)

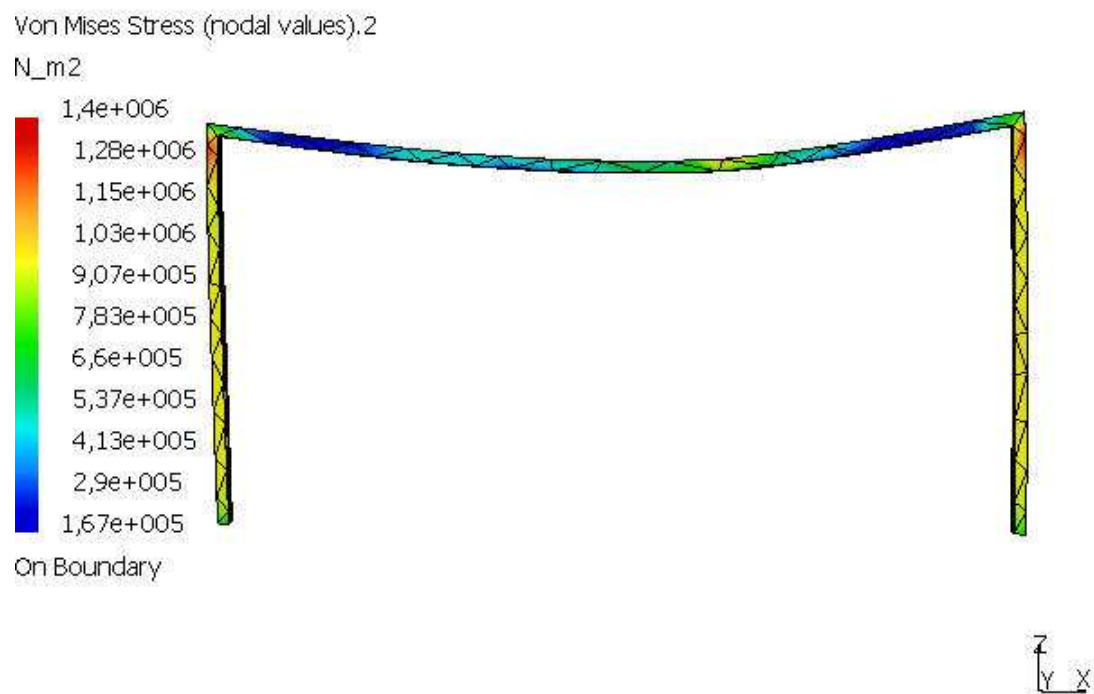


Figura III.B. 3: Von Mises Pórtico

3D elements: : Components: : All

On deformed mesh ---- On boundary ---- Over all the model

xii. Static Case Solution.1 - Von Mises Stress (nodal values).(Limits)

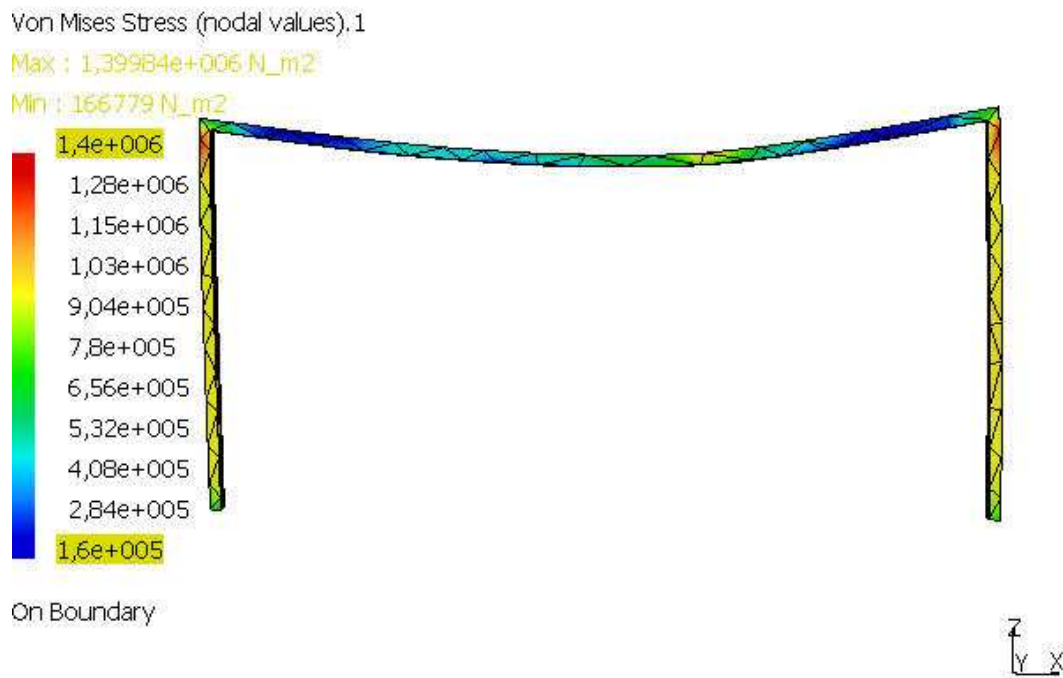


Figura III.B. 4: Von Mises Pórtico (Límites)

3D elements: : Components: : All

On deformed mesh ---- On boundary ---- Over all the model

xiii. Static Case Solution.1 - Translational displacement vector.

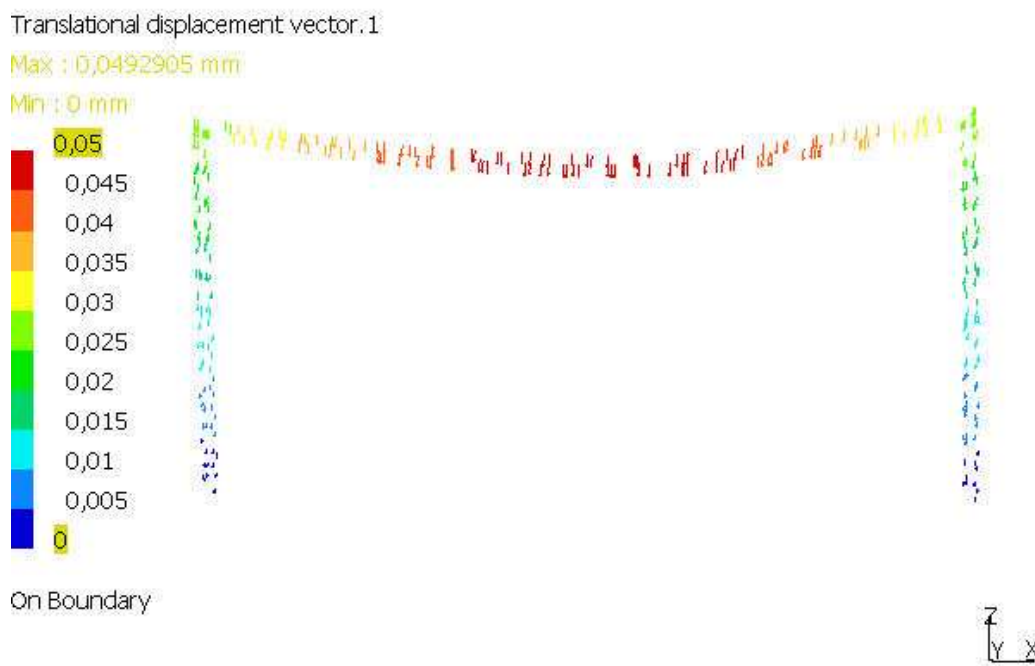


Figura III.B. 5: Desplazamiento (Vector)

3D elements: : Components: : All

On deformed mesh ---- On boundary ---- Over all the model

xiv. Static Case Solution.1 - Stress principal tensor symbol.(Límites)

Stress principal tensor symbol.1

Max : 647619 N_m2

Min : -1,48075e+006 N_m2



Figura III.B. 6: Tensor de Tensiones (límites)

3D elements: : Components: : All

On deformed mesh ---- On boundary ---- Over all the model

xv. Static Case Solution.1 - Estimated local error.1

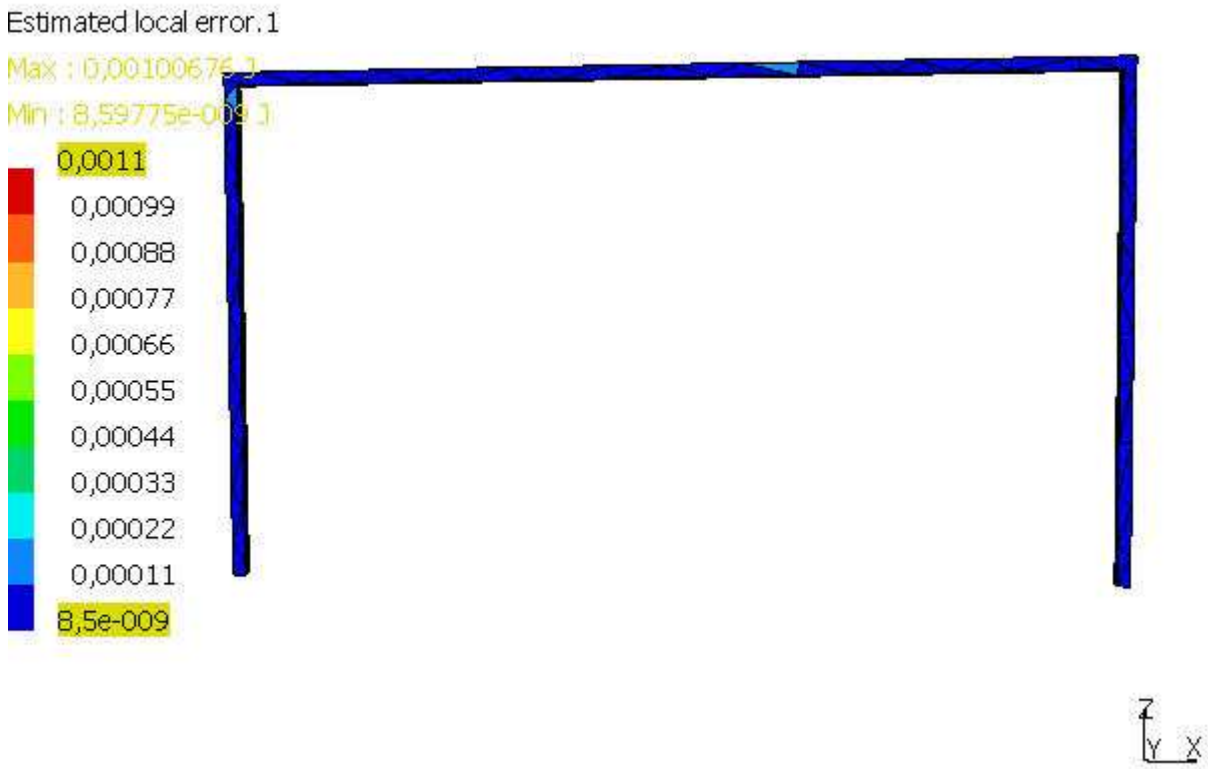


Figura III.B. 7: Error de cálculo

3D elements : Components: : All
On all Elements ---- Over all the model

xvi. Global Sensors

Sensor Name	Sensor Value
Energy	0,037J

Tabla III.B. 9: Sensor

–Anexo I V–

Conjunto Estructural

xvii. MESH:

Entity	Size
Nodes	13743
Elements	43187

xviii. ELEMENT TYPE:

Connectivity	Statistics
SPIDER	148 (0,34%)
TE4	43039 (99,66%)

xix. Materials.1

Material	Aluminium
Young's modulus	7e+010 N/m ²
Poisson's ratio	0,346
Density	2710kg/m ³
Coefficient of thermal expansion	2,36e-005Kdeg ⁻¹
Yield strength	9,5e+007 N/m ²

VII) Static Case

i. Boundary Conditions

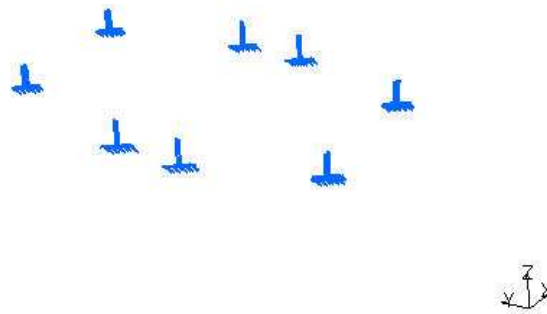


Figura IV. 1: Apoyos

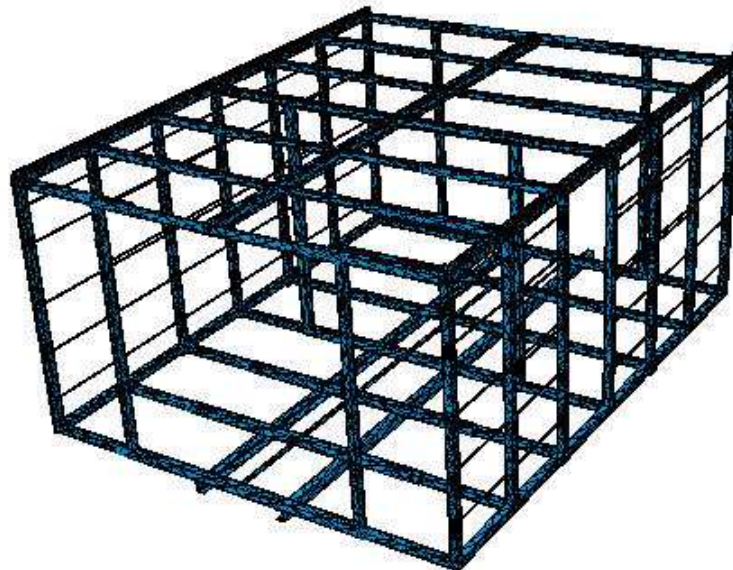


Figura IV. 2: Estructura

ii. STRUCTURE Computation

Number of nodes	13743
Number of elements	43187
Number of D.O.F.	41229
Number of Contact relations	0
Number of Kinematic relations	444
Number of coefficients	3204

Linear tetrahedron	43039
Solid to solid fastened join	148

Tabla IV. 1: Mallado

iii. RESTRAINT Computation

Name: RestraintSet.1

Number of S.P.C : 255

iv. LOAD Computation

Name: Loads.1

Applied load resultant :

F _x	=	0.000e+000	N
F _y	=	0.000e+000	N
F _z	=	-3.409e+003	N
M _x	=	-4.797e+002	N·m
M _y	=	-8.477e+003	N·m
M _z	=	0.000e+000	N·m

Tabla IV. 2: Cargas

v. STIFFNESS Computation

Number of lines	41229
Number of coefficients	715707
Number of blocks	2
Maximum number of coefficients per bloc	499992
Total matrix size	8.35 Mb

*Tabla IV. 3: Stiffness***vi. CONSTRAINT Computation**

Restraint: RestraintSet.1

Number of constraints	699
Number of coefficients	0
Number of factorized constraints	645
Number of coefficients	2526
Number of deferred constraints	0

*Tabla IV. 4: Restricciones***vii. FACTORIZED Computation**

Method	SPARSE
Number of factorized degrees	40584
Number of supernodes	4009
Number of overhead indices	187746
Number of coefficients	3427482
Maximum front width	681
Maximum front size	232221
Size of the factorized matrix (Mb)	26.1496
Number of blocks	4
Number of Mflops for factorization	6.666e+002
Number of Mflops for solve	1.391e+001
Minimum relative pivot	4.805e-006

Tabla IV. 5: Factorización

viii. DIRECT METHOD Computation

Name: StaticSet.1

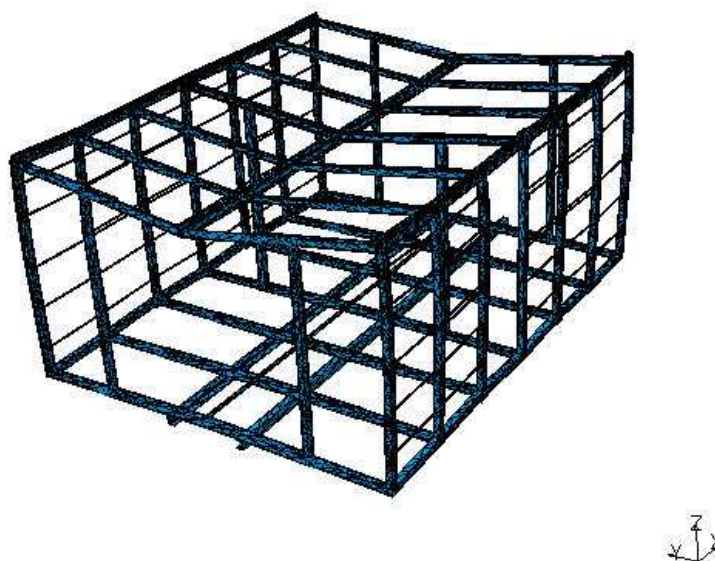
Restraint: RestraintSet.1

Load: LoadSet.1

Strain Energy : 1.169e-002 J

Equilibrium

Components	Applied Forces	Reactions	Residual	Relative Magnitude Error
Fx (N)	0.0000e+000	-1.8535e-009	-1.8535e-009	1.8524e-012
Fy (N)	0.0000e+000	5.9418e-010	5.9418e-010	5.9383e-013
Fz (N)	-3.4089e+003	3.4089e+003	2.0172e-008	2.0160e-011
Mx (N·m)	-4.7967e+002	4.7967e+002	3.6435e-009	7.4892e-013
My (N·m)	-8.4772e+003	8.4772e+003	5.3451e-008	1.0987e-011
Mz (N·m)	0.0000e+000	-2.4707e-009	-2.4707e-009	5.0786e-013

*Tabla IV. 6: Matriz de Cálculo***ix. Static Case Solution.1 - Deformed Mesh.***Figura IV. 3: Deformada*

On deformed mesh ---- On boundary ---- Over all the model

x. Static Case Solution.1 - Von Mises Stress (nodal values).

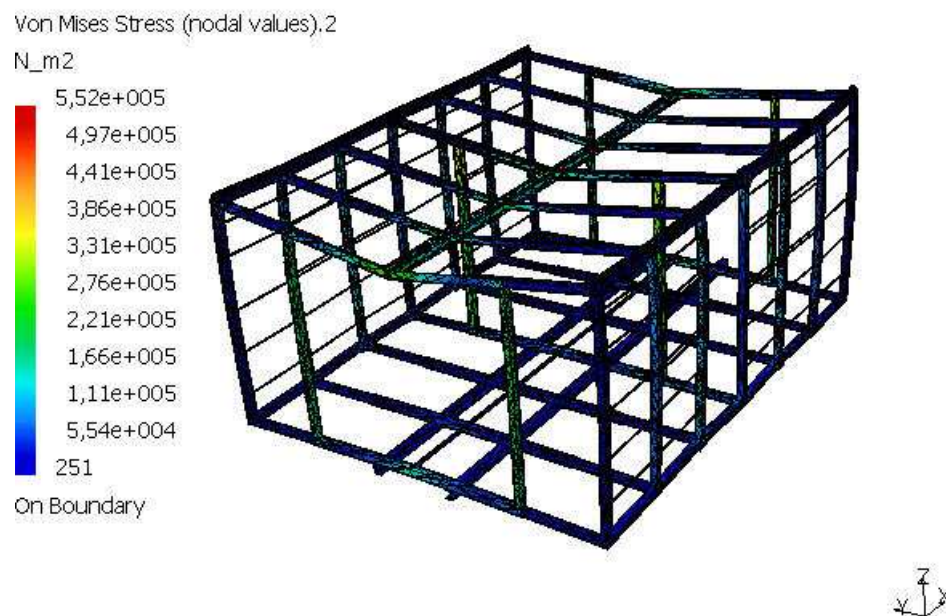


Figura IV. 4: Von Mises Estructura

1D elements: : Components: : All

3D elements: : Components: : All

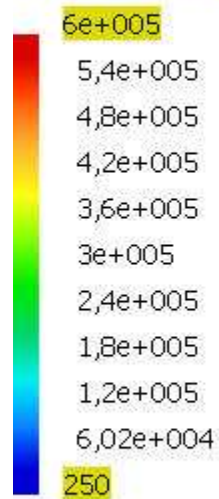
On deformed mesh ---- On boundary ---- Over all the model

xi. Static Case Solution.1 - Von Mises Stress (nodal values).(Limits)

Von Mises Stress (nodal values).1

Max : 551690 N_m2

Min : 250,707 N_m2



On Boundary

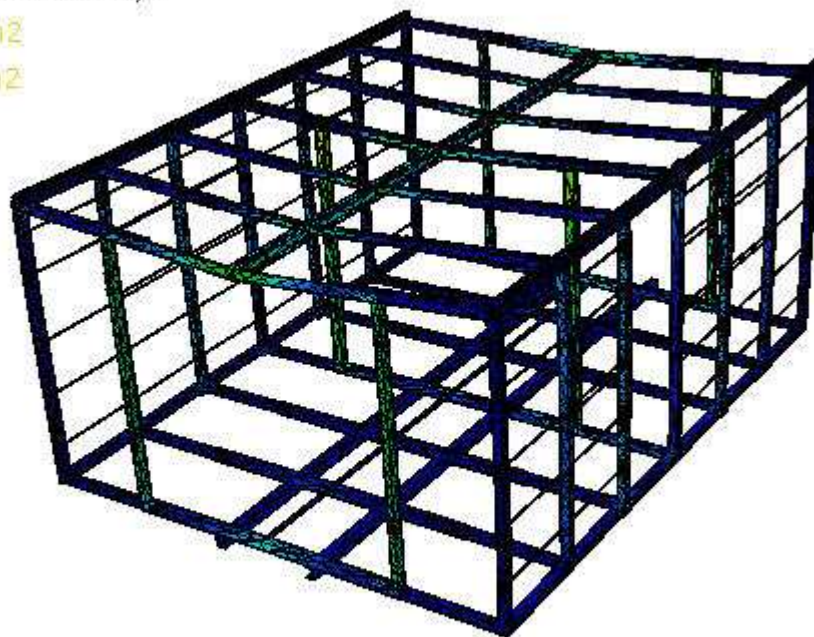


Figura IV. 5: Von Mises (Límites)

1D elements: : Components: : All

3D elements: : Components: : All

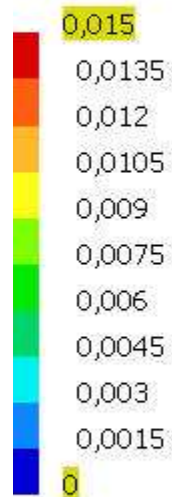
On deformed mesh ---- On boundary ---- Over all the model

xii. Static Case Solution.1 - Translational displacement vector.

Translational displacement vector.1

Max : 0,0148446 mm

Min : 0 mm



On Boundary

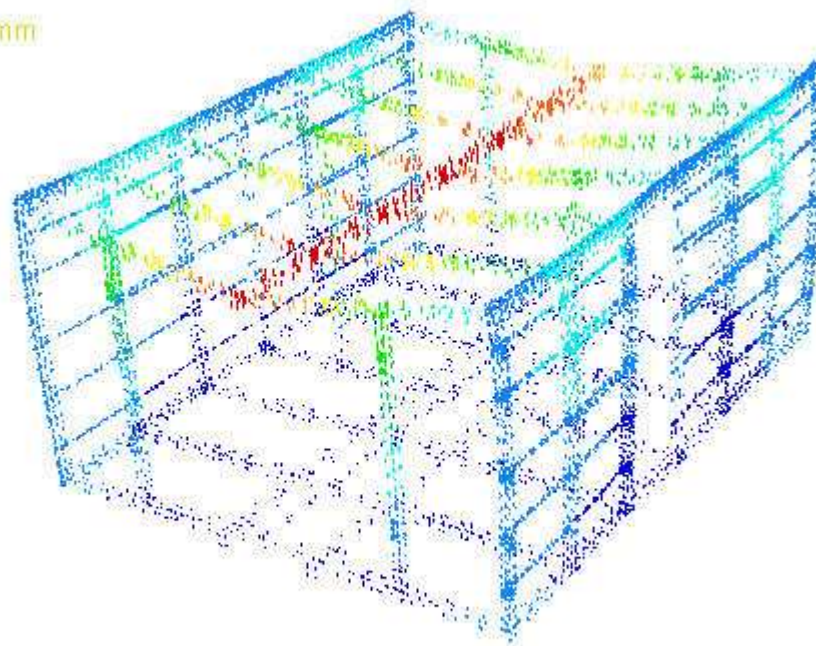


Figura IV. 6: Desplazamiento (Vector)

1D elements: : Components: : All

3D elements: : Components: : All

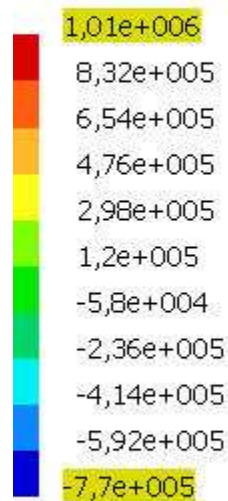
On deformed mesh ---- On boundary ---- Over all the model

xiii. Static Case Solution.1 - Stress principal tensor symbol.1

Stress principal tensor symbol.1

Max : 1,00556e+006 N_m2

Min : -766167 N_m2



On Boundary

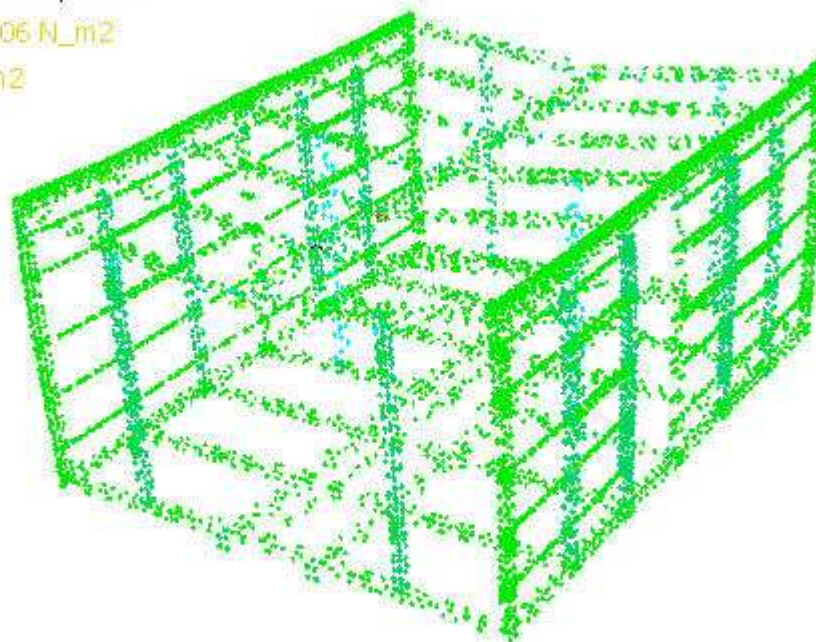


Figura IV. 7: Tensor de Tensiones (Límites)

1D elements: : Components: : All

3D elements: : Components: : All

On deformed mesh ---- On boundary ---- Over all the model

xiv. Static Case Solution.1 - Estimated local error.1

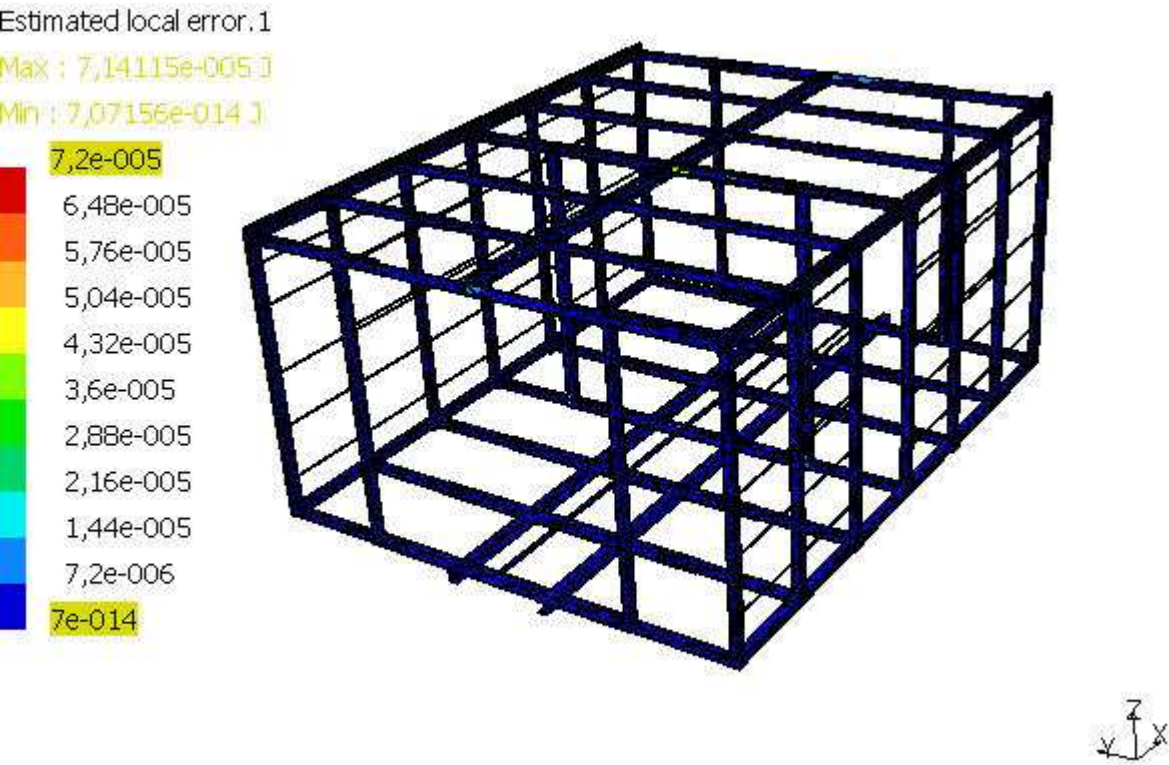


Figura IV. 8: Error de Cálculo

1D elements : Components: : All
3D elements : Components: : All
On all Elements ---- Over all the model

xv. Global Sensors

Sensor Name	Sensor Value
Energy	0,012J

Tabla IV. 7: Sensor

